



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

선박 접이안용 계선주 성능 및 관리 기준에 관한  
연구

A Study on Performance and Maintenance Standards of  
Mooring bollards



指導教授

李 允 石

2017年 8月

韓國海洋大學校 大學院

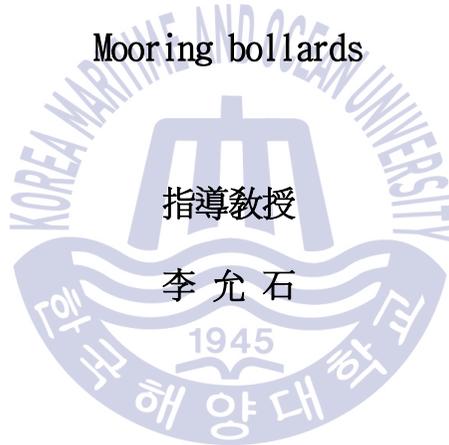
海 洋 警 察 學 科

劉 容 雄

工學碩士 學位論文

선박 접이안용 계선주 성능 및 관리 기준에 관한  
연구

A Study on Performance and Maintenance Standards of  
Mooring bollards



2017年 8月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

劉 容 雄

본 논문을 유용웅의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장      趙 翼 順      (인)

위  원      金 鍾 成      (인)

위  원      李 允 石      (인)



2017년    8월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	vii
Abstract .....	ix

제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 연구범위 및 방법 .....	3
제 2 장 계선주 성능 및 관리에 관한 기술 기준 분석 .....	6
2.1. 국내·외 계선주 설치 현황 .....	6
2.2 선박의 규모별 견인력에 따른 계선주 설계 및 설치 기준 .....	8
2.2.1 국내 계선주 설계 및 설치 기준 .....	8
2.2.2 국외 계선주 설계 및 설치 기준 .....	13
2.2.3 국내·외 계선주 설계 및 설치 기준 상호 비교 분석 .....	16
2.3 국내·외 계선주 관리 기준 분석 .....	17
2.3.1 국내 계선주 관리 기준 · 체계 및 지침 분석 .....	18
2.3.2 국외 계선주 관리 기준 · 체계 및 지침 분석 .....	24
2.3.3 국내·외 계선주 관리 기준 · 체계 및 지침 분석결과 .....	27

<b>제 3 장 계선주의 성능 평가</b> .....	<b>29</b>
3.1 계선주 견인력 분석 .....	29
3.1.1 4,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	31
3.1.2 5,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	31
3.1.3 7,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	32
3.1.4 8,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	32
3.1.5 9,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	33
3.1.6 25,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	33
3.1.7 50,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	34
3.1.8 65,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	34
3.1.9 100,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	34
3.1.10 150,000 G/T 선박 계류안전성 평가 .....	35
3.1.11 계류안전성 평가 검토 결과 .....	35
3.2 계선주 손상 사례 분석 .....	37
3.3 계선주 부식 측정 .....	40
<b>제 4 장 계선주 응력 및 강도 평가</b> .....	<b>47</b>
4.1 계선주 성능 평가 기준 .....	47
4.1.1 계선주 강재 특성 .....	47
4.1.2 계선주 응력 산정 평가 기준 .....	48
4.2 작용 하중 분석 .....	51
4.2.1 곡주(Bollard) 하중 .....	51
4.2.2 직주(Mooring post) 제원 .....	52
4.3 작용 하중에 따른 응력 분석 .....	54
4.4 강도 유지를 위한 최소 강재두께 분석 .....	63
4.4.1 곡주(Bollard)의 최소 강재두께 산정 .....	64
4.4.2 직주(Mooring post)의 최소 강재두께 산정 .....	66
4.5 최대 허용 견인력 .....	68
4.6 부식에 따른 계선주 두께 손실 및 성능 분석 .....	72

4.6.1 계선주의 자연적 부식을 검토 .....	72
4.6.2 계선주 연간 두께 손실 평가 .....	77
4.7 계선주 부식에 따른 견인력 분석 .....	83
<b>제 5 장 계선주 유지 관리 방안 제시 .....</b>	<b>86</b>
5.1 계선주 관리 방안을 위한 두께 기준 제시 .....	86
5.2 계선주 유지 관리 기준 제시 .....	88
5.3 계선주 강도 향상을 위한 두께 보강 제시 .....	90
<b>제 6 장 결 론 .....</b>	<b>91</b>



## List of Tables

<b>Table 1</b>	Standard values of tractive forces by ship'G/T	9
<b>Table 2</b>	Minimum number and maximum spacing of bollards at berth	10
<b>Table 3</b>	Relationship between tractive force and diameter of bollard	12
<b>Table 4</b>	Standard values of tractive forces by ship'displacement	14
<b>Table 5</b>	Angel and arrangement of mooring line	16
<b>Table 6</b>	Safety rating of the facility	18
<b>Table 7</b>	Inspection regulations (Special act on Safety safety control of public structures)	19
<b>Table 8</b>	Inspection regulations (Harbor act)	20
<b>Table 9</b>	Inspection regulations (Marine environment management act)	21
<b>Table 10</b>	Type of safety inspection	22
<b>Table 11</b>	Target range of safety check and safety inspection	23
<b>Table 12</b>	Inspection regulations (inspection guidelines for port facilities)	25
<b>Table 13</b>	Safety rating of the facility (guidelines for maintenance planning of port facilities)	26
<b>Table 14</b>	Inspection Frequency of bollard (OCIMF)	27
<b>Table 15</b>	EUTOTECH BENELUX COMPANY' inspection frequency of bollards	27
<b>Table 16</b>	External force on mooring analysis	30
<b>Table 17</b>	Maximum tractive force acting on bollard (4,000ton)	31
<b>Table 18</b>	Maximum tractive force acting on bollard (5,000ton)	32
<b>Table 19</b>	Maximum tractive force acting on bollard (7,000ton)	32
<b>Table 20</b>	Maximum tractive force acting on bollard (8,000ton)	33
<b>Table 21</b>	Maximum tractive force acting on bollard (9,000ton)	33

<b>Table 22</b>	Maximum tractive force acting on bollard (25,000ton) .....	33
<b>Table 23</b>	Maximum tractive force acting on bollard (50,000ton) .....	34
<b>Table 24</b>	Maximum tractive force acting on bollard (65,000ton) .....	34
<b>Table 25</b>	Maximum tractive force acting on mooring Post (100,000ton) ..	35
<b>Table 26</b>	Maximum tractive force acting on mooring Post (150,000ton) ..	35
<b>Table 27</b>	Maximum tractive force acting on Bollard .....	36
<b>Table 28</b>	Specifications of ultrasonic thickness gauge .....	40
<b>Table 29</b>	The result of measuring the bollard thickness .....	45
<b>Table 30</b>	Specifications of bollard .....	51
<b>Table 31</b>	Working load of bollard .....	52
<b>Table 32</b>	Specifications of mooring post .....	53
<b>Table 33</b>	Working load of mooring post .....	54
<b>Table 34</b>	Maximum moment of bollards .....	55
<b>Table 35</b>	Bending Stress of mooring bollards .....	57
<b>Table 36</b>	Shearing Stress of mooring bollards .....	59
<b>Table 37</b>	Stress of bollard .....	61
<b>Table 38</b>	Stress of mooring post .....	62
<b>Table 39</b>	Minimum thickness for yield strength (bollard) .....	65
<b>Table 40</b>	Minimum thickness for yield strength (mooring post) .....	67
<b>Table 41</b>	Maximum Tractive force on mooring bollards by bending Stress .....	69
<b>Table 42</b>	Maximum tractive force on mooring bollards by shearing stress .....	71
<b>Table 43</b>	Classification of corrosion zone .....	73
<b>Table 44</b>	Corrosion rate of carbon Steel .....	74
<b>Table 45</b>	Estimated corrosion period of bollard .....	75
<b>Table 46</b>	Estimated corrosion period of mooring post .....	76
<b>Table 47</b>	Maximum corrosion per year of the bollard thickness at KMOU	

wharf .....	80
<b>Table 48</b> Acceptable loss thickness of mooring bollards .....	82
<b>Table 49</b> Minimum Period of Estimated corrosion .....	82
<b>Table 50</b> Maximum tractive force of bollard every five years .....	83
<b>Table 51</b> Maximum Tractive force of Mooring Post Every five years ..	84
<b>Table 52</b> Standards for thickness of bollard .....	86
<b>Table 53</b> Standards for thickness of mooring post .....	87
<b>Table 54</b> Inspection standard of Special act on Safety safety control of public structures .....	89
<b>Table 55</b> Inspection standard of mooring post, bollard .....	89



## List of Figures

<b>Fig. 1</b> Flow Chart of Study .....	5
<b>Fig. 2</b> Bollard (Busan, 15Ton) .....	6
<b>Fig. 3</b> Bollard (Busan, 35Ton) .....	6
<b>Fig. 4</b> Bollard (Osaka, 35Ton) .....	7
<b>Fig. 5</b> Bollard (Osaka, 35Ton) .....	7
<b>Fig. 6</b> Bollard (Subic) .....	7
<b>Fig. 7</b> Bollard (Singapore) .....	7
<b>Fig. 8</b> Bollard (Manila) .....	8
<b>Fig. 9</b> Bollard (Nha Trang) .....	8
<b>Fig. 10</b> Correlation between tractive forces and action forces of mooring bollards .....	10
<b>Fig. 11</b> Typical arrangements of mooring post(right angle) .....	11
<b>Fig. 12</b> Typical arrangements of mooring post(45°) .....	11
<b>Fig. 13</b> Shape and dimension of bollard .....	12
<b>Fig. 14</b> Shape and dimension of mooring post .....	12
<b>Fig. 15</b> Pillar Type .....	15
<b>Fig. 16</b> Tee head Type .....	15
<b>Fig. 17</b> Sloping lobe Type .....	15
<b>Fig. 18</b> Typical mooring patterns of BS 6349 and Trelleborg' manuel .....	16
<b>Fig. 19</b> Mooring analysis OPTIMOOR SW (Example) .....	31
<b>Fig. 20</b> Case of damaged bollard by corrosion .....	37
<b>Fig. 21</b> Case of damaged bollard by fracture .....	38
<b>Fig. 22</b> Case of damaged bollard by fracture .....	38
<b>Fig. 23</b> Case of damaged bollard by broken .....	39

<b>Fig. 24</b> Accident of carnival triumph .....	39
<b>Fig. 25</b> Specifications of Bollard [25T] .....	41
<b>Fig. 26</b> Drawing of KMOU Wharf .....	42
<b>Fig. 27</b> Place of measuring bollard's thickness .....	43
<b>Fig. 28</b> Measuring position of bollard's thickness .....	44
<b>Fig. 29</b> Mooring ropes status of No.7 bollard(KMOU wharf) .....	46
<b>Fig. 30</b> Bollard section .....	51
<b>Fig. 31</b> Mooring post section .....	53
<b>Fig. 32</b> Maximum moment of bollards .....	56
<b>Fig. 33</b> Bending Stress of mooring bollards .....	58
<b>Fig. 34</b> Shearing Stress of mooring bollards .....	60
<b>Fig. 35</b> Stress of bollard .....	61
<b>Fig. 36</b> Stress of mooring post .....	63
<b>Fig. 37</b> Minimum thickness for yield strength (Bollard) .....	66
<b>Fig. 38</b> Minimum thickness for yield strength (mooring post) .....	68
<b>Fig. 39</b> Maximum Tractive force on mooring bollards by bending stress	70
<b>Fig. 40</b> Maximum Tractive force on mooring bollards by shearing stress	71
<b>Fig. 41</b> Corrosion zone .....	73
<b>Fig. 42</b> Estimated corrosion period of bollard .....	76
<b>Fig. 43</b> Estimated corrosion period of mooring post .....	77
<b>Fig. 44</b> Using environment of mooring post and bollard .....	79
<b>Fig. 45</b> Maximum corrosion per year of the bollard thickness at KMOU wharf .....	81
<b>Fig. 46</b> Maximum tractive force of bollard every five years .....	84
<b>Fig. 47</b> Maximum Tractive force of Mooring Post Every five years .....	85
<b>Fig. 48</b> Thickness standard of bollard .....	87
<b>Fig. 49</b> Thickness standard of mooring post .....	88

# A Study on Performance and Maintenance Standards of Mooring bollards

Yu YongUng

Department of Coast Guards Studies

Graduate School of Korea Maritime University

## Abstract

A purpose of this paper is to contribute on setting a maintenance management standard to secure a mooring stability, to utilize on a performance evaluation of bollard by providing inspection method drawing a period of evaluation performance and inspection for maintaining performance, to develop methods and means of performance maintenance of bollard through result on performance analysis and inspection analysis on current bollard technology, understanding the effects of bollard on securing mooring safety.

An analysis on a technological standard of a bollard includes the a research analyzing the damaged case of a bollard in operation installed in the past, evaluating the capacity of strength depending on the standards of new bollard installation for performance maintenance according to pulling capacity or draft force. It also includes a research analyzing the inspection standard for performance maintenance of a bollard according to

EUTOTECH BENELLUX Company, the bollard manufacturer and the inspection standard provided by OCIMF, Japan, Korea and lastly, the standard of installation of existing bollards in Korea, Japan, and United Kingdom.

To provide the maintenance management standards, the thesis states the evaluation of a stress and strength of bollards. The inspection of a stress on bollards is carried out on a horizontal force in accordance with pulling capacity, a bending stress by normal force, and shear stress, suggesting the thickness reaching limited yield strength on each applied stress. The thickness may be utilized as a reference to establish a way of maintenance management and performance evaluation. Through the analysis on a damage of steel thickness to a thickness reaching a yield strength, a longevity of a bollard is examined.

Damage on thickness happens due to corrosion on quality of a material and an abrasion on a mooring cable. A corrosion on quality of a material of a bollard is expected through the corrosion by seawater on carbon and to calculate the abrasion on a mooring cable, measurement result of installed bollard in operation is compared. Through the result of thickness measurement, an annual maximum damage on thickness is evaluated, an abrasion on a mooring cable is calculated by comparing with a corrosion by seawater, proposing the expected damage on thickness to predict a longevity of a bollard.

By the expected damage on thickness, an evaluation is made on damage on thickness in accordance with elapsed time and a longevity of a bollard is expected through the time on reaching a yield strength thickness. Also, an appropriateness of a bollard safety limitation standard is reviewed through the evaluation of maximum pulling force or draft force depending on the damaged thickness.

This thesis is proposed that the measurement of performance evaluation and the measurement of safety inspection based on a longevity of a bollard. With regard to such measurements, it also suggests the way of maintenance management per item.

A standard of maintenance management and performance evaluation on bollards will continuously be enhanced through consistent research and analysis, and the results of such research and analysis is anticipated to be utilized on performing an efficient safety management in port.

**KEY WORDS:** Mooring post, Bollard, Thickness, corrosion, Maintenance Management Standards, mooring safety



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경 및 목적

선박을 매어 두기 위하여 부두, 잔교 등에 설치된 기둥을 계선주라고 부르며 직주와 곡주로 구분된다. 계선주는 부두에서 계류삭을 고박하여 선박을 매어둠으로 선박의 계류안전성을 확보하기 때문에 계선주 설치 시 부두에 접안하는 선박의 규모에 따른 설계가 이루어져야 하며 설치 후 지속적으로 계류안전성이 확보되어야 한다.

국내 항만에서 계선주는 해양수산부의 『항만 및 어항 설계기준·해설(2014)』 [2] 에 규정된 선박의 규모에 따른 견인력을 기준으로 종류, 강도, 배치, 재질, 기초 제원의 설계기준을 제안하고 있으며, 설계기준에 따라 부두에 접안하는 최대선박의 견인력을 기준으로 계선주의 설치가 이루어지고 있다.

계선주를 포함한 항만시설물의 설치 후 유지·보수 및 안전관리는 국토 교통부와 해양수산부 법령에 근거한 안전점검을 통해 시행하고 있으며 [8][9][10], 한국시설안전공단의 세부지침에서 제시된 세부 검사 항목 및 방법에 따라 안전점검이 이루어지고 있다. [11] 세부지침에서는 부두를 포함한 일반 시설물 및 항만 설비에 대하여 시설물의 특성에 따라 마모 및 파괴와 성능에 대하여 항목별 세부 검사 항목 및 방법과 그에 따른 평가 기준을 제시하고 있으나 계선주는 항만의 부대시설물로 규정되어 계선주의 위치 및 개수와 균열 및 마모 등 상태 평가 항목을 제시하고 있으나 항목별 평가 방법이 제시되지 않아 육안을 통한 검사자의 자의적인 판단에 따라 점검이 이루어지고 있다.

국내 항만에 설치된 계선주의 노후화가 진행됨에도 체계화된 검사 및 성능 평가가 이루어지지 못함에 따라 계선주의 파손 및 절단과 계선주가 매립된 부두의 파손으로 탈락하는 사고 등이 발생하고 있으며, 보수 및 교체 등 사후 조

치로 관리가 이루어지고 있다. 때문에 계선주의 유지관리가 선박의 계류안전성을 저해하는 요인이 될 수 있다는 우려가 있으며, 계선주 파손 및 절단 등의 손상이 발생 하였을 경우 매어있던 계류삭에 의한 사고 및 선박이 계류안전성을 잃고 표류하게 되어 따라 선체와 부두의 충돌 또는 하역 작업 중 화물 유출 등의 사고의 개연성이 존재한다.

따라서 본 연구에서는 계선주의 국내·외 설치현황을 조사하였으며, 국내·외 설치기준의 계선주 기술 기준을 분석하고, 그에 따른 유지관리를 위한 기준 및 지침을 비교 분석하였다. 이러한 기술 기준에 따라 계선주의 설치 및 유지관리의 적정성 검토를 위하여 10개 부두의 계선주의 작용 견인력 평가 결과를 분석을 하여 성능 적정성을 평가하였다. 평가 결과 설치기준에 적합하게 계선주의 설치가 이루어짐에도 과거 설치되어 사용 중인 계선주에서 손상 및 파손과 관련한 사고들이 발생하고 있으며, 사고 원인으로 부식 및 재질 불량 등에 따른 성능 저하와 작용력에 대한 성능 부족 등으로 분석되고, 이러한 사고들은 계선주 성능 저하에 따른 평가 방법과 이에 따른 유지관리 기준의 미비함으로 인해 발생하는 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 이러한 유지관리 기준의 미비함으로 인해 발생하는 계선주의 손상 및 파손 사고를 방지하고자 국내 계선주 현황에 맞는 성능 평가 방법 및 기준을 제시하는데 있으며, 나아가 계선주의 부식에 따른 손실 예측을 통하여 안전점검 기준을 제시하는데 있다. 이에 따라 계선주의 성능 평가 방법을 마련하고자 선박의 견인력에 따른 계선주에 작용하는 휨 응력과 전단응력을 평가하였으며, 작용 응력에 따른 계선주 성능을 두께를 통하여 평가하였다. 계선주의 두께는 계선주 설치 후 시간의 경과에 따라 손실이 발생하며, 두께의 손실에 따라 허용 가능한 응력이 감소하게 된다. 이러한 계선주 두께 손실 평가를 위해 계선주 재질에 따른 자연적 부식과 계류삭의 영향에 따른 마모를 바탕으로 평가하여 계선주의 수명을 예측하고, 두께 손실에 따른 유지관리를 위한 검사 항목 및 검사방법과 보수기준을 포함한 안전관리기준 제시하고자 한다. 제시한 안전관리기준을 통하여 효율적인 관리를 통하여 계선주의 성능을 유지하여 선박에 부두에 접안 시 계선주의 파손 및 절단 사고를 방지하여 계류안전성을 향

상시키는데 도움을 줄 것이라 기대된다.

## 1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 계선주를 대상으로 계선주 성능 및 관리기준에 대하여 분석하였으며 계선주는 직주와 곡주로 구분되고 있으며, 세부적으로 해양수산부 용어사전에 따르면 대형선 접안에 이용되는 직주 형태의 대형 계선주(Mooring post)와 중형, 대형 선박의 접안에 이용되는 곡주(Bollard), 소형선박 접안용(Bitt)로 구분된다. [32] 본 연구에서는 일반 선박인 총톤수 200톤 이상의 선박이 접안하는데 이용되는 직주(Mooring post)와 곡주(Bollard)를 대상으로 직주와 곡주를 포함한 계선주 (Mooring Bollards)를 수행하였다.

계선주 관리기준 분석을 위하여 관련 기술 기준인 국내·외 설치기준과 유지관리 기준을 비교 분석하였으며, 국내 설치 시 성능 적정성을 기존의 계류안전성 평가 중 계선주에 작용하는 견인력을 통하여 평가하였고, 계선주 설치 후 유지관리 현황 분석을 위하여 계선주의 손상 및 파손 사례를 및 계선주 계측을 통한 계선주의 손상 현황을 검토하였다. 계선주 계측은 한국해양대학교 실습선 부두를 대상으로 초음파 계측기기를 통하여 시행하였다.

계선주의 성능 평가 기준을 제시하기 위하여 작용 응력을 계선주 재원 및 재질에 따른 한계 항복 강도와 비교 검토하여 평가하였으며, 두께에 따라 작용 응력이 변화하는 특성을 통하여 계선주의 성능 평가를 두께로 제시하였다. 항복 강도에 도달하는 두께를 바탕으로 계선주 설치 시의 두께와 비교하여 손실 가능한 여유 두께를 산출하였으며, 여유 두께의 손실을 계선주의 설치환경과 재질에 따른 자연적 부식율과 계류삭의 영향에 따른 마모를 바탕으로 평가하였고, 평가 결과와 계선주 계측에 따른 두께 손실을 비교 분석하였다. 분석결과를 바탕으로 계선주 유지관리기준 및 성능 향상 방안을 제시하였으며 본 연구의 구체적인 연구방법과 흐름은 다음과 같다.

(1) 계선주의 설치 사례를 조사하고 관련 기술 기준으로 국내·외 설치 기준과 유지관리를 위한 규정 및 기준을 상호 비교 분석하였다.

(2) 설치 기준의 선박의 규모별 견인력에 따른 계선주의 성능을 평가하기 위하여 과거 수행된 해상교통안전진단의 계류안전성 평가 중 계선주에 작용하는 견인력 평가 결과를 기초로 현재 설치된 계선주의 적정성을 검토하였으며, 또한 유지관리 현황 검토를 위하여 계선주 관련 손상 및 파손을 사례를 조사하고 계선주 계측을 통한 손상을 평가하였다.

(3) 계선주의 유지관리 기준 마련을 위한 정량적인 성능 평가 기준을 제시하기 위하여 설치기준에 따른 선박 규모별 견인력을 바탕으로 계선주에 작용하는 휨 응력 과 전단응력을 산출하고, 작용 응력에 따른 성능 평가 기준을 마련하고자 하였다.

(4) 성능 평가 기준 마련을 위하여 국내에 설치되고 있는 계선주의 재질 특성에 따른 강도와 규격별 재원을 검토하였으며, 견인력에 따른 수평력과 수직력의 영향을 분석하여 작용 응력을 휨 응력과 전단응력으로 나누어 산출하였다.

(5) 선박의 규모별 견인력에 따른 휨 응력과 전단응력별 계선주의 항복 강도에 도달하게 되는 성능 한계를 예측하여 두께를 통하여 산출하였으며, 평가 기준을 분석 하였다.

(6) 두께를 통한 평가 기준을 바탕으로 계선주 유지관리 방안을 마련하고자 두께의 손실에 따른 성능 한계에 도달하는 수명을 분석하고자 두께의 손실은 계선주 설치 환경에 따른 재질의 부식과 계류사의 영향 등에 따른 추가 마모를 통하여 손실을 예측하였고, 두께 손실 예측 결과와 비교를 위하여 두께 계측을 실시하였다.

(7) 두께 손실 예측을 바탕으로 계선주 성능 유지를 위하여 기존의 유지관리 기준의 안전점검 기준을 바탕으로 상세 검사 항목 및 방법과 평가기준을 제시하였으며, 이를 통하여 효율적인 계선주 관리가 이루어지도록 제안하고자 한다.

연구를 진행함에 있어 다양한 조건에 따른 계선주 두께 예측에 있어 여러 가지 애로사항이 있었고 해양대학교실습선 부두의 계측 결과만을 사용하였다. 향후 지속적인 계선주 안전점검 및 연구를 통하여 계선주 두께 손실 예측은 지속적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

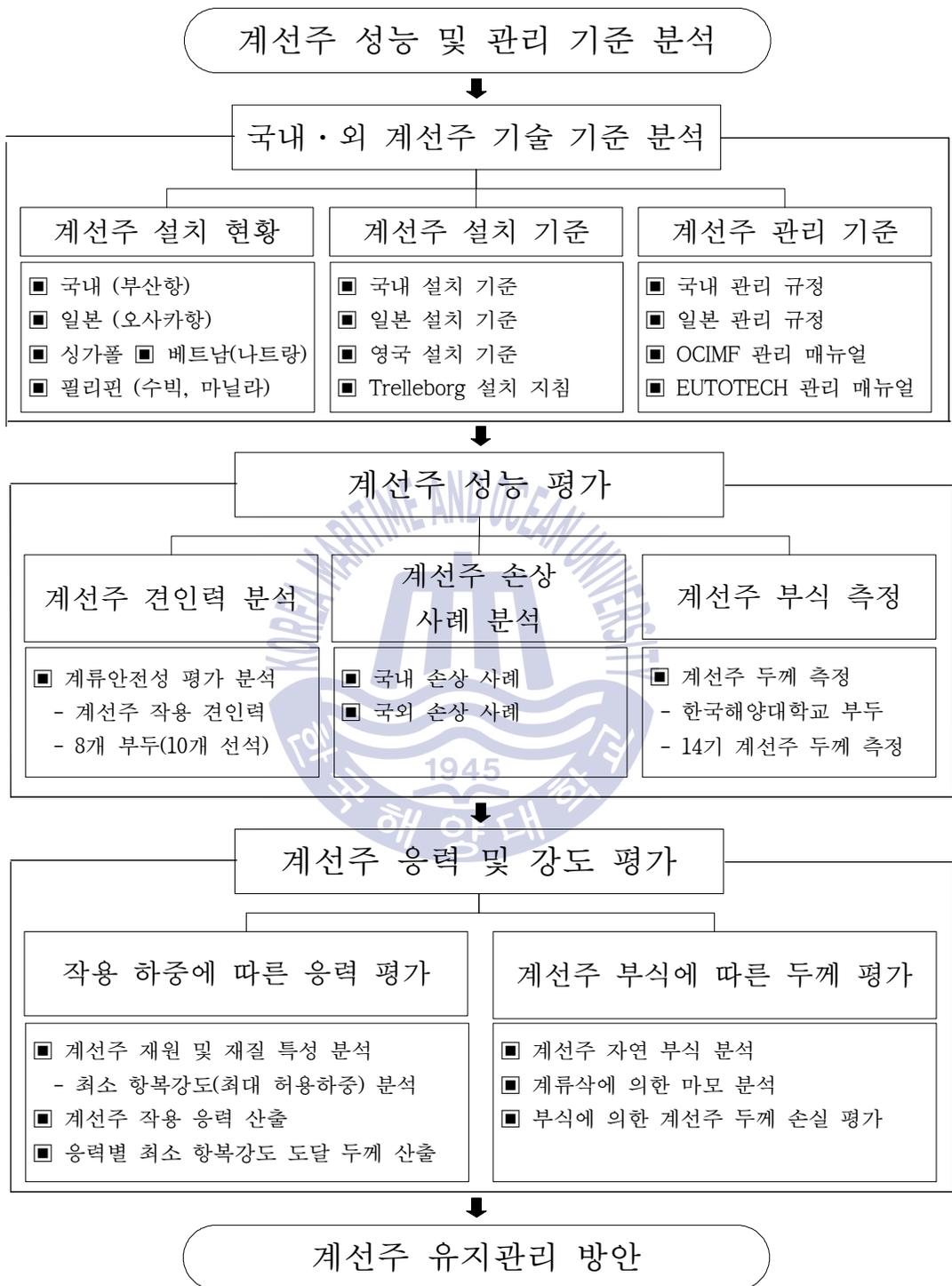


Fig. 1 Flow Chart of Study

## 제 2 장 계선주 성능 및 관리에 관한 기술 기준 분석

### 2.1. 국내·외 계선주 설치 현황

본 장에서는 계선주의 종류와 설치 목적을 조사하고, 계선주 설치사례로 국내 부산항과 일본 오사카항 그리고 싱가포르 및 필리핀 수빅, 마닐라와 베트남 나트랑항을 조사하였다. 계선주는 곡주와 직주로 구분되며, 세분하면 대형 선박 접안을 위한 직주(Mooring post)와 중형 및 대형 선박 접안을 위한 곡주(Bollard) 그리고 소형선 접안을 위한 계선주 (Bitt)로 구분된다. 본 연구에서는 직주(Mooring post)와 곡주(Bollard)을 대상으로 진행하였다.

Fig. 2는 국내 부산 영도 해오름마당에 설치된 관공선 접안을 위한 15톤 규격의 직주이며 Fig. 3은 국내에 제작되어 설치를 기다리고 있는 35톤 규격의 곡주이다. Fig. 4 ~ 5은 일본 오사카 항에 설치된 계선주로 35톤 규격의 곡주가 설치되어 있으며 부산항과 유사한 형태의 곡주가 설치되어 있다.



Fig. 2 Bollard (Busan, 15Ton)



Fig. 3 Bollard (Busan, 35Ton)



Fig. 4 Bollard (Osaka, 35Ton)



Fig. 5 Bollard (Osaka, 35Ton)

Fig. 6는 필리핀 수빅항에 설치된 2개의 직주 기둥을 가진 직주 형태의 계선주로 일반적인 선박의 계류 사용하기 위해 설치되고, 한 척의 선박 계류를 위해 사용된다. Fig. 7은 싱가포르에 설치된 곡주 형태의 계선주로 2척 이상의 선박의 계류 위해 설치되며, 계류작의 사용 각의 환경이 나쁜 부두에 설치된다.



Fig. 6 Bollard (Subic)

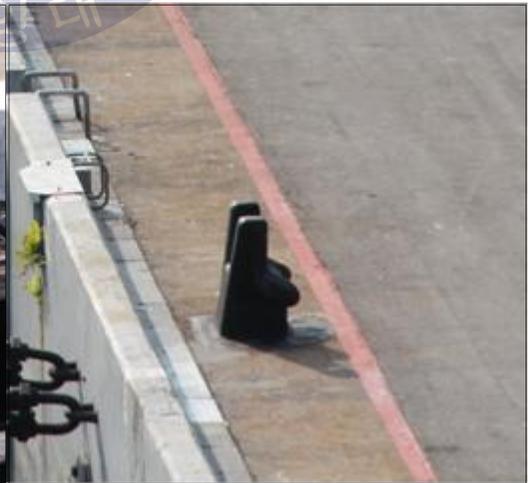


Fig. 7 Bollard (Singapore)

Fig. 8는 필리핀 마닐라에 설치된 계선주이며, Fig. 9은 베트남 나트랑에 설치된 계선이고 1척의 선박 계류를 위한 직주형태의 계선주이다.



Fig. 8 Bollard (Manila)

Fig. 9 Bollard (Nha Trang)

이와 같이 계선주 설치 사례를 조사하였으며, 국가 별로 다양한 형태의 곡주 및 직주가 설치되어있다. 설치된 계선주의 성능 검토 및 유지관리 방안을 마련하고자 설치 기준과 유지관리 기준을 검토하였다.

## 2.2 선박의 규모별 견인력에 따른 계선주 설계 및 설치 기준

### 2.2.1 국내 계선주 설계 및 설치 기준

국내 계선주 설치 기준은 해양수산부의 설계기준에서 기술되어 있으며 제8편에서는 계류 시설의 15-2 계선주와 계선환에서 배치와 구조에 대하여 제시하고 있고, 제2편 설계조건 2-2-7 계선주에 작용하는 힘에서 선박의 규모별 계선주에 작용하는 견인력을 규정하고 있다. [2] 또한 계선주 종류에 대하여 곡주와 직주로 나누어 제시하고 있으며, 직주는 대형선박 선박을 위한 계선주로 폭풍시에 선박을 계류하기 위한 선석 양단 부근의 계류시설 또는 그 부근의 기준선으로부터 떨어지게 설치하고, 곡주는 중형 대형 선박이 평상시 계류 및 접·이

안을 위한 계류시설로 기준선 가까이에 설치하도록 제안하고 있다.

선박의 규모별 계선주 직주와 곡주에 작용하는 견인력은 항설 기준상 Table 1과 같이 제시하고 있으며 선박의 규모별 계선주에 작용하는 견인력에 대하여 총톤수 200톤 이상에서 25만 톤 이하의 선박까지 12개의 등급으로 나누어 제시하고 있다. 작용 견인력을 직주와 곡주로 나누어 비교하면 곡주에 작용하는 견인력 보다 직주에 작용하는 견인력이 강하게 작용하고, 12개 등급에서 평균 76%로 작용하며, 총톤수 5만 ~ 10만 톤 급 선박에서 50%로 가장 큰 차이가 평가되었다.

**Table 1** Standard values of tractive forces by ship' G/T

선박의 총톤수 [G/T, 톤]	직주에 작용하는 견인력 [kN,{t}]	곡주에 작용하는 견인력 [kN,{t}]
200 ~ 500	150 {15}	150 {15}
500 ~ 1,000	250 {25}	250 {25}
1,000 ~ 2,000	350 {35}	250 {25}
2,000 ~ 3,000	350 {35}	350 {35}
3,000 ~ 5,000	500 {50}	350 {35}
5,000 ~ 10,000	700 {70}	500 {50}
10,000 ~ 20,000	1,000 {100}	700 {70}
20,000 ~ 50,000	1,500 {150}	1,000 {100}
50,000 ~ 100,000	2,000 {200}	1,000 {100}
100,000 ~ 150,000	2,000 {200}	1,500 {150}
150,000 ~ 200,000	2,500 {250}	1,500 {150}
200,000 ~ 250,000	2,500 {250}	2,000 {200}

이러한 견인력은 Fig. 10과 같이 작용하는 방향에 따라 직주는 견인력이 수평 방향으로 작용하고 수직 방향의 경우 1/2의 견인력을 적용하며 곡주는 모든 방향에서 규정된 견인력이 작용하는 것으로 표준으로 명시하고 있다

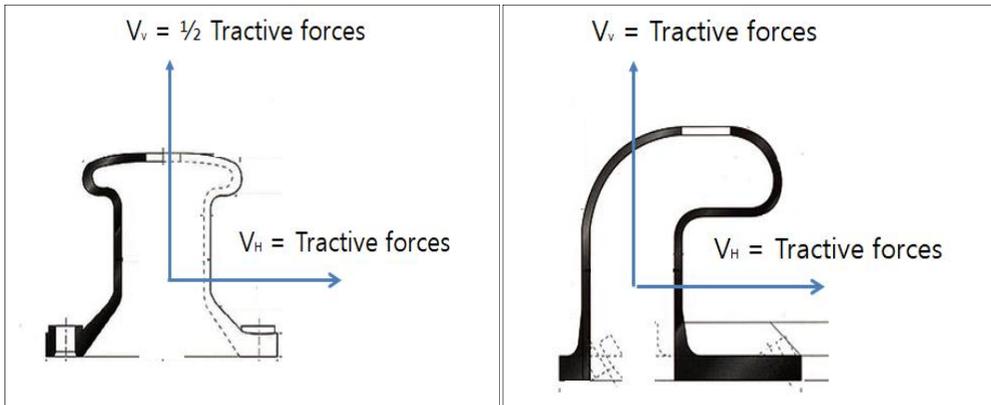


Fig. 10 Correlation between tractive forces and action forces of mooring bollards

기타 200G/T 이하의 소형선 견인력은 선박의 종류, 접안상황, 계류시설의 구조 등을 고려하여 결정하도록 규정하고 있으나 실제 설계에서는 200G/T 이하의 경우 직주에 작용하는 견인력은 150kN(15t), 곡주에 작용하는 견인력은 50kN(5t)을 표준으로 하고 있다.

계선주의 간격 및 설치 개수 등 배치에 관하여 Table 2와 같이 선박의 총톤수별 계선주 곡주의 간격과 1선석 당 최소 설치 개수를 제시하고 있다.

Table 2 Minimum number and maximum spacing of bollards at berth

선박의 총톤수 [G/T, 톤]	곡주의 최대간격(m)	1선석 당 최저설치개수(개)
~ 2,000	10 ~ 15	4
2,000 ~ 5,000	15	5
5,000 ~ 20,000	20	11
20,000 ~ 50,000	20	16
50,000 ~ 100,000	20	20
100,000 ~ 150,000	22	21
150,000 ~ 200,000	22	22
200,000 ~ 250,000	22	23

직주의 배치에 있어 직주는 선박의 이용형태에 따른 배치를 표준으로 선체의 횡 방향 힘에 대해서 충분히 저항할 수 있도록 선체의 선수미 방향과 계류라인이 이루는 각이 가능한 직각이 되도록 배치하고, 1선석에 2기 설치를 제시하고 있다. 또한 선수라인과 선미라인이 선체의 선수미 방향의 동요를 방지하기 위하여 선체의 선수미 방향과 이루는 각은  $25 \sim 45^\circ$  가 되도록 곡주를 배치할 필요가 있다고 규정하고 있으며, 다음과 같이 대표적인 직주의 배치 형태를 제시하고 있다. 연속된 선석의 접속부에 설치하는 계선주의 양측선박의 계류라인이 1개의 계선주에 동시에 걸리는 경우에는 계류라인은 방향이 다르고 그 합력이 한척의 선박에서의 견인력보다 크게 되지 않으므로 선석의 접속부에 설치하는 계선주를 특별히 크게 할 필요는 없다고 제시하고 있다. 그러나 이안 시에 라인을 푸는 시간이 걸려 사고를 일으킬 위험이 있으므로, 이러한 점을 감안하여 수 m의 거리에 2개의 곡주를 설치하는 것이 바람직하고 기준하고 있다.

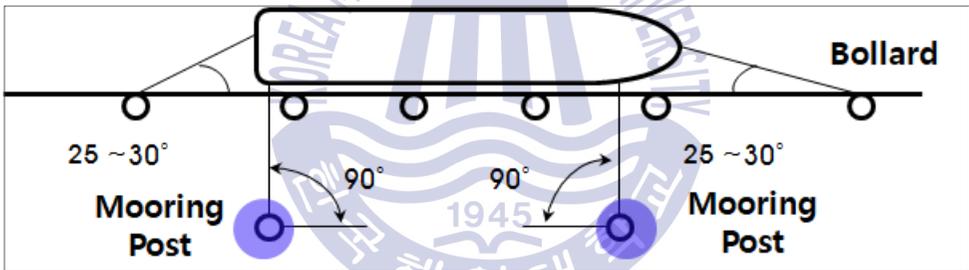


Fig. 11 Typical arrangements of mooring post(right angle)

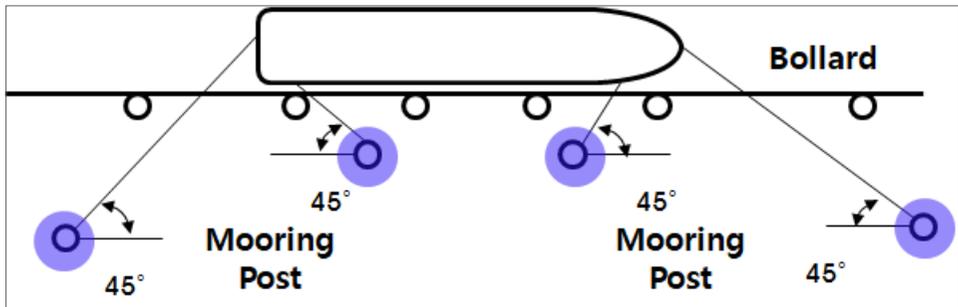


Fig. 12 Typical arrangements of mooring post( $45^\circ$ )

계선주의 재질에 대하여 대형은 주강으로, 소형은 주철과 강판 또는 철근콘크

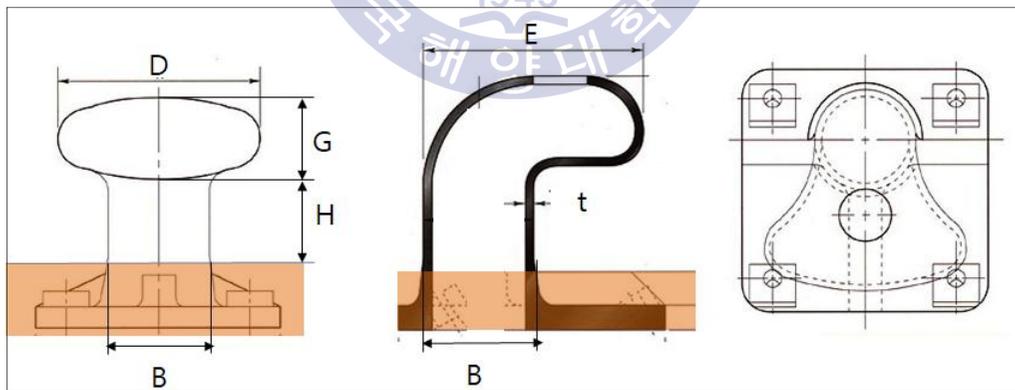
리트 등을 사용할 수 있다고 규정하고 있다. 그 중 주강은 KS D 3710(탄소강 단강품)으로 규정하고 있고, KS D 3710(탄소강 단강품) SF340A, SF390A, SF440A, SF490A, SF540A, SF590A의 종류로 분류된다. [3]

주강재인 계선주의 구조에 대하여 선박의 견인력과 계선주 직경을 Table 3와 같이 권고하고 있다.

**Table 3** Relationship between tractive force and diameter of bollard

기둥직경(m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
견인내력(t)	5	10	20	35	50	70	100	120	150	200	20

항설기준에서 제안하는 계선주 직주, 곡주의 각 부분별 형상 치수 관계는 곡주(Bollard)는  $D = 2.0B$ ,  $E=2.0B$ ,  $H=1.0B$ ,  $G=1.0B$ ,  $t=0.1B$  와 같으며 직주(Mooring Post)는  $D = 1.5B$ ,  $H=1.2B$ ,  $G=0.5B$ ,  $t=0.1B$ 와 같다. 치수 관계에 대한 각 형상은 Fig. 13와 14와 같다.



**Fig. 13** Shape and dimension of bollard

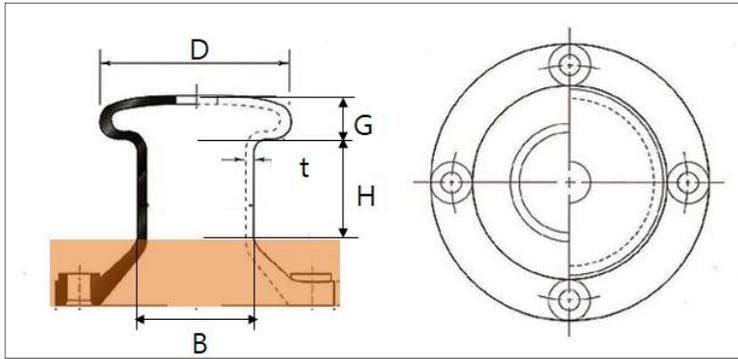


Fig. 14 Shape and dimension of mooring post

## 2.2.2 국외 계선주 설계 및 설치 기준

국외의 계선주 설치기준과 관련하여 일본 기준 [4], 영국 기준 [5], 계선주 제조회사인 Trellerborg의 설치지침을 검토하였으며 [6], 국내 기준과 상호 비교 분석하였다.

### 2.2.2.1 일본 계선주 설계 및 설치 기준

일본에서는 『港湾施設の技術上の基準・同解説(2007)』에서 계선주를 포함한 항만시설에 대하여 설치 기준을 규정하고 있다. [4]

일본 설치 기준에서는 계선주의 성능 기준으로 접안선박의 계류삭 위치를 고려하여 화물 운송 작업이 안전하고 원활하게 가능하도록 적절하게 배치되어야 하고, 선박에 의해 발생하는 견인력 기준 이하에서 손상 및 파손이 발생하지 않아야 한다고 규정하고 있다. 선박의 견인력은 총톤수 10만 톤 이하 선박에 대하여 2.2.1절의 국내 항설 기준인 Table 1과 동일한 총톤수별 선박의 견인력을 제시하고 있다. 그러나 총톤수 10만 톤을 초과하는 선박은 견인력을 규정하지 않고 총톤수 10만 톤 이하 선박까지 9단계로 나누어 제시하고 있다.

계선주 곡주의 배치에 관한 기준도 견인력과 같이 총톤수 10만 톤 이하 선박에 대하여 2.2.1절의 국내 항설 기준인 Table 2의 배치기준과 동일하게 5등급으로 제시하고 있으나 총톤수 10만 톤을 초과하는 선박에 대한 기준은 제시하지 않고 있다. 계류삭과 계선주 직주의 배치에 대하여 국내 항설기준과 동일

하게 규정하고 있다. 대표적인 직주의 배치 안 또한 2.2.1절의 국내 항설 기준의 제시안 Fig. 11, 12와 동일하게 직주와 선박의 계류사의 각도가 90°, 45°인 배치를 제시하고 있다.

### 2.2.2.2 영국 및 Trelleborg 설계 · 설치 기준 및 매뉴얼

영국에서는 『BS 6349』에서 항만 및 수역과 기타 시설들에 대하여 규정하며 [5], 그 중 Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems) 에서 Table 4와 같이 계선주에 작용하는 견인력을 선박의 displacement를 기준으로 7단계로 제시하고 있다.

**Table 4** Standard values of tractive forces by ship' displacement

ship's displacement [t]	tractive forces [t]
~ 2,000	10
2,000 ~ 10,000	30
10,000 ~ 20,000	60
20,000 ~ 50,000	80
50,000 ~ 100,000	100
100,000 ~ 200,000	150
200,000 ~	200

계선주의 재질 및 형태에 대하여 재질을 주강재(Cast iron), 주강철(Cast steel)로 규정하고 있으며, 계선주의 형태로 다음의 그림과 같이 Pillar, Tee head, Sloping lobe의 형태로 나누어 분류하고 있다.

Pillar은 국내 직주와 유사한 계선주로 1척의 선박의 계류하는 경우 사용되며, Tee head는 곡주와 유사한 계선주로 1척의 선박이 계류하는 경우에 계류사의 각이 좋지 않을 경우 사용된다. Sloping lobe은 직주와 곡주의 중간 형태로 2척 이상의 선박이 접안하기 위해 계류사가 다수 매이는 경우 설치된다.

또한 계선주의 설치와 관련하여 부두에 접안하는 선박의 안전을 확보할 수

있도록 설치하여야 한다고 규정하며, 모두 강풍, 강조류 등 외력의 영향이 강한 지역 또는 악조건 견인력이 예상(다수의 계류색이 사용되는 경우 등) 되는 경우 견인력에 추가적으로 25% 이상 용량을 가지도록 제안하고 있으나 관련한 계선주의 규격 등에 대한 상세한 기준을 마련하고 있지 않았다.

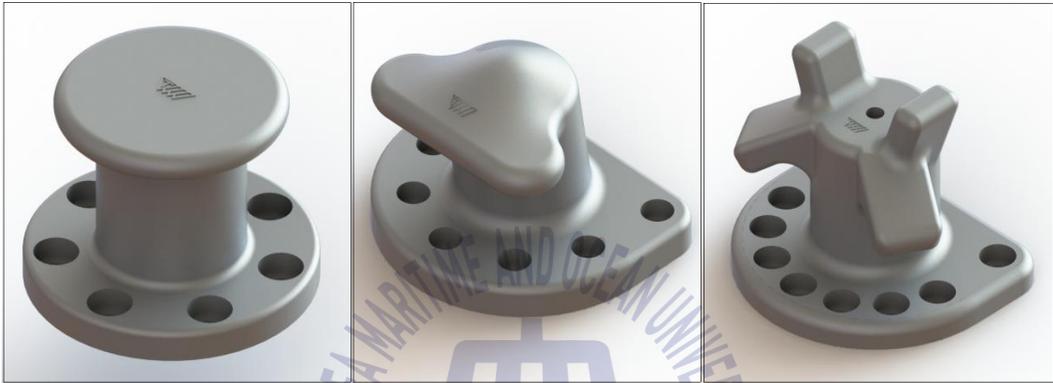


Fig. 15 Pillar Type

Fig. 16 Tee head Type

Fig. 17 Sloping lobe Type

추가적으로 계선주 제조사인 Trelleborg에서 제공하고 있는 계선주 설치 관련 매뉴얼을 분석하였다. Trelleborg 사는 스웨덴을 기반으로 BRITISH STANDARD와 PIANS의 기준을 바탕으로 항만 및 Terminal의 방충제, 계선주 등 Docking and Mooring system과 하역 설비 및 선박의 system과 관련한 제품들을 생산 및 유지관리를 제공하는 회사이다.

그 중 계선주는 영국의 기준을 바탕으로 설치 지침을 제시하고 있으며, 앞서 Table 4와 영국의 BS 6349에서 제안하는 선박의 견인력과 동일한 견인력을 제시하고 있다. 추가적으로 Trelleborg의 지침에서도 계선주의 사용 환경에 따라 악조건이 예상되는 경우 영국과 동일하게 추가적으로 25% 이상 용량을 가지도록 제안하고 있다.

계선주의 배치와 관련하여 BS 6349에서는 계류색의 배치와 각도에 대하여 제안하고 있으며, 제조사인 Trelleborg 사에서는 BS 6349에서 제시한 계류색의 배

치와 각도에 기준하여 계선주를 배치하도록 제안하고 있다. Fig. 18와 Table 5는 BS 6349과 Trelleborg에서 제안하는 계류선의 배치기준이다.

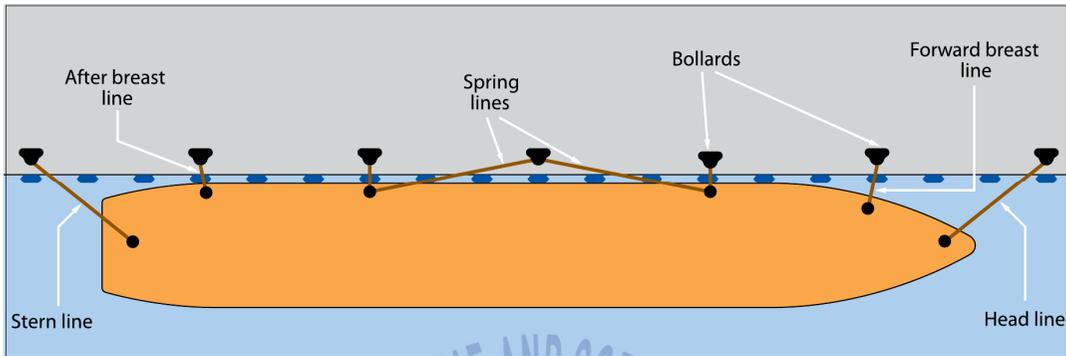


Fig. 18 Typical mooring patterns of BS 6349 and Trelleborg' manuel

Table 5 Angel and arrangement of mooring line

Head & stern lines	$45^{\circ} \pm 15^{\circ}$
Breast lines	$90^{\circ} \pm 30^{\circ}$
Spring lines	$5^{\circ} \sim 10^{\circ}$
Vertical line angle ( $\alpha$ )	$< 30^{\circ}$

### 2.2.3 국내·외 계선주 설계 및 설치 기준 상호 비교 분석

국내외의 계선주 설치 기준에 대하여 비교 분석 하면 국내 기준과 가장 유사한 기준을 제안하고 있는 국가는 일본의 관련 기준으로 계선주에 작용하는 견인력, 계선주의 배치에 관하여 유사한 기준을 제안하고 있으나 나머지 계선주의 규격, 형상, 치수 등에 관하여는 국내 항설 기준에서만 제시하고 있다.

영국의 기준은 항만의 건설에 있어 유럽과 중동 및 싱가포르 등 많은 국가에서 차용하고 사용하고 있으며, 항만의 건설과 부두 설비에 대하여 상세한 규정을 제안하고 있다. 그 중 항만 접안과 관련한 기타 시설 중 방충제(Fender)에 대하여 선박의 크기 및 접·이안 환경을 분류하고, 그에 따라 방충제의 종류 및 규격 등에 대하여 상세하게 규정하고 있었으나, 계선주를 포함한 계류시설에 대

하여 재질과 대표적인 유형에 대하여 제시하는 기준으로 제한되어 구체적인 설치 규정은 존재하지 않았다.

추가적으로 영국의 기준을 기반으로 계선주를 제작하고 있는, Trelleborg 사의 자체 지침을 분석하였으나, 계선주 배치 및 규격에 대한 기준을 확인 할 수 없었다.

국가별 계선주와 관련한 설치 기준을 분석한 결과, 선박의 견인력에 대한 구분은 국내는 총톤수 기준 25만 톤 이하 선박에 대하여 12등급으로 구분하였고, 일본은 총톤수 10만 톤 이하 선박에 대하여 9등급으로 나누어 제안하고 있으며, 등급별 톤급과 견인력은 동일하였다. 또한 유럽의 경우 배수량을 기준으로 7등급으로 구분하고 있으며 직주와 곡주의 구분 없이 견인력에 제시되어 있다.

계선주의 재질은 모두 주강재 또는 주강철로 구분하고 있으며, 계선주의 배치와 대표적인 배치 안에 대하여 국내와 일본에서만 규정하고 있고, 유럽의 기준에서는 계류삭의 배치를 제시하여 그에 따라 계선주가 설치되도록 하고 있다. 계선주의 각 부분별 형상과 치수에 대하여 국내 기준에서만 규정하고 있다.

계선주 설치와 관련한 기준을 분석한 결과 공통적으로 작용 견인력, 재질, 종류를 제시하고 있으며, 국내와 일본에서는 계선주의 배치를 제시하고 있고, 계선주의 직경과 상세 치수 등의 규격을 국내 기준에서만 제시하고 있다.

## 2.3 국내·외 계선주 관리 기준 분석

2.2절에서 분석한 계선주 설치 기준에서는 계선주의 유지 및 보수 등 관리를 위한 기준 및 방법을 제시하지 않았다. 국내와 일본에서는 별도의 법령과 지침에서 관리 기준을 제시하고 있으며, 기타 유럽 등에서는 관련 규정을 확인하지 못하여 관련 매뉴얼 및 지침을 통하여 비교 검토 하였다.

계선주의 유지관리를 위한 관련 검사들과 검사 항목과 방법 및 검사 결과에 따른 시설물의 성능 평가 방법을 분석하기 위하여 국내 법령을 분석하였고 [8][9][10], 국토교통부 산하 한국시설안전공단의 세부지침에서 제시된 세부 검사 항목, 방법을 분석하였다. [11] 일본 법령 및 국토교통성령의 지침을 분석하였고

[12][13][14][15], 기타 유럽 등에서는 관련 규정을 확인하지 못하여 OCIMF의 부두 유지 검사 가이드 [16], 계선주 제조사인 Eurotech benelux사의 지침을 통하여 분석하였다. [17]

### 2.3.1 국내 계선주 관리 기준 · 체계 및 지침 분석

국내 계선주 관리 기준 분석을 위하여 계선주를 포함한 항만시설물 관리 규정인 『시설물의 안전관리에 관한 특별법 (이하 시설물안전법)』 [8], 『항만법』 [9], 『해양환경관리법』에 대하여 비교 분석 하였다. [10]

시설물의 안전등급은 시설물안전법의 시행령에서 Table 6과 같이 A~E 등급으로 우수, 양호, 보통, 미흡, 불량으로 나누어 안전등급별 시설물의 상태를 명시하고 있다. 시설물에 중대한 결함이 발견 시 시설물의 종류에 따라 D~E 등급으로 적용되고, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 등급을 조정할 수 있도록 규정하고 있다.

Table 6 Safety rating of the facility

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인해 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

Table 7은 시설물안전법상의 안전 점검 대상 계류시설과 점검주기를 분석한

결과이다. 점검 대상 시설은 1종과 2종 시설물로 구분되고, 1종 시설물은 20만 톤 이상의 원유 부이 및 5만 톤 이상의 말뚝식 계류시설이며, 2종 시설물은 1종 시설물에 제외된 시설물에 1만 톤 이상 중력식 계류시설과 말뚝 구조 계류 시설이다. 1종 시설물의 경우 안전점검에 다른 검사 중 정밀안전진단이 추가된다.

**Table 7** Inspection regulations (Special act on Safety safety control of public structures)

시설물 안전관리에 관한 특별법				
구분	1종 시설물		2종 시설물	
계류시설	1. 20만 톤 이상 원유부이 2. 5만 톤 이상 말뚝 구조 계류시설		1. 1만 톤 이상 말뚝 구조 계류시설 (1종 시설물 제외) 2. 1만 톤 이상 중력식 계류시설 3. 1종 시설물에 해당되지 않는 시설	
점검 분류	정기점검, 정밀점검, 긴급점검, 정밀안전진단		정기점검, 정밀점검, 긴급점검	
실시 시기	1. 정기점검 가. A·B·C 등급 : 반기에 1회 이상 나. D·E 등급 : 해빙기·우기·동절기 등 1년에 3회 이상			
	2. 긴급점검 : 관리주체가 필요하다고 판단한 때 또는 관계 행정기관의 장이 관리주체에게 긴급점검을 요청한 때			
	3. 정밀점검 및 정밀안전진단의 실시주기			
	안전등급	정밀점검		정밀안전진단
		건축물	그 외 시설물	
A등급	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상		
B·C등급	3년에 1회 이상	2년에 1회 이상		
	D·E등급	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상

Table 8은 항만법 상의 항만시설 안전 점검 대상과 점검주기를 분석한 결과

항만시설의 경우 시설물안전법에 따라 점검이 이루어진 경우에는 검사가 면제 되도록 규정하고 있다. 따라서 항만시설에 대하여 시설물안전법이 우선 적용된다고 볼 수 있다.

**Table 8** Inspection regulations (Harbor act)

항만법		
구분	갑문시설 및 1만 톤급 이상의 계류시설	이외의 항만시설
점검 분류	정기점검, 정밀점검, 긴급점검, 정밀안전진단	정기점검, 정밀점검, 긴급점검
실시 시기	<p>1. 정기점검</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시설물의 준공일 또는 사용승인일로부터 1년 이내</li> <li>○ 점검일 부터 1년마다 1회 이상 정기점검 실시.</li> <li>○ 다만, 태풍 또는 계절풍의 영향을 많이 받는 지역의 시설물의 정기점검 시기는 해양수산부장관이 정하는 바에 따라 반기별 1회 이상으로 조정할 수 있으며, 정밀점검, 긴급점검, 정밀안전진단의 실시기간과 중복되는 경우에는 생략할 수 있다.</li> <li>○ 타 법령이나 지침에 의해 매년 정기적인 안전점검을 실시하는 경우에는 본 지침의 정기점검을 실시한 것으로 본다.</li> </ul> <p>2. 정밀점검</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 안벽, 돌핀, 물양장 (널말뚝 또는 강관파일 등을 사용한 특수구조 한정) 및 그 밖의 계류시설 중 여객 이용시설               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 준공일 또는 사용승인일부터 6년 이내</li> <li>- 점검일 부터 6년마다 1회 이상</li> </ul> </li> <li>○ 안벽, 물양장(특수구조 형식 제외) 잔교, 부잔교, 선착장               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 준공일 또는 사용승인일부터 10년 이내</li> <li>- 점검일 부터 10년마다 1회 이상</li> </ul> </li> </ul> <p>3. 긴급점검</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 관리주체 또는 해양수산부장관(관계 행정기관의 장 포함)이 긴급점검이 필요하다고 인정하는 경우</li> </ul>	

Table 9은 해양환경관리법상의 항만시설 안전 점검 대상 계류시설과 점검주기를 분석결과 해양환경관리법은 기름 및 유해액체물질과 관련된 해양시설 즉 위험물을 취급하는 시설에 대해 규정하고 있고, 항만시설 중 환경과 관련한 장비들에 대하여 검사를 규정하고 있다. 항만시설의 종류는 계류시설 및 저장시설과 이송 설비 자가 처리시설을 포함한 선박이 접안하는 부두와 위험물이 저장되는 육상 시설까지 포함하여 규정하고 있으며, 점검 시설에 대한 안전점검의 실시 시기 및 방법에 대하여 규정하고 있으나 항만법 등 타 법령에 의하여 검사를 실시한 경우 검사를 면제하고 있어 항만법과 동일하게 시설물안전법을 통하여 점검이 이루어지고 있다.

**Table 9** Inspection regulations (Marine environment management act)

해양환경관리법		
구분	시설의 종류	범 위
계류시설	기름 및 유해액체물질 저장 (비축 포함) 시설	계류시설, 선박과 저장시설을 연결하는 이송설비, 저장시설, 자가처리시설
실시 시기	가. 실시 시기 반기(半期)별로 1회 실시한다. 나. 안전점검은 해당 반기에 다른 법령에 따라 점검 또는 검사를 실시한 경우에는 그 사항에 한정하여 안전점검을 생략할 수 있다.	

국내 계선주 유지·보수에 관한 법령을 분석한 결과, 항만시설물의 안전점검 및 진단과 관련하여 시설물안전법, 항만법, 해양환경관리법에서 안전점검을 규정하고 있으나 항만법과 해양환경관리법에서는 타 법령에 의하여 점검 및 검사를 실시한 경우 안전점검을 생략할 수 있도록 규정하고 있어 실제 항만시설물의 점검은 시설물안전법을 통하여 안전점검 및 진단이 실시되고 있다. 시설물 안전법을 포함하여 국내법령에서는 검사 종류와 검사 시기를 규정하고 있고, 시설물별 검사 상세는 국토교통부 산하 한국시설안전공단의 『안전점검 및 정밀 안전진단 세부지침』에 명시되어 있다. [11] Table 10은 안전점검을 정기점검,

정밀점검, 긴급점검, 정밀안전진단으로 구분한 세부지침의 구체적 설명이다.

Table 10 Type of safety inspection

구분		정의
정기점검		경험과 기술을 갖춘 사람에 의한 세심한 외관조사 수준의 점검
정밀점검		면밀한 외관조사와 간단한 측정·시험장비로 필요한 측정 및 시험을 실시하고 외관조사 및 측정·시험 결과와 이전의 안전 점검 및 정밀안전진단 실시결과에서 발견된 결함의 진전 및 신규발생을 파악하여 시설물의 주요 부재별 상태 평가
긴급 점검	손상 점검	시설물의 손상 정도를 파악하여 긴급한 사용제한 또는 사용금지의 필요 여부, 보수·보강의 긴급성, 보수·보강작업의 규모 및 작업량 등을 결정
	특별 점검	기초침하 또는 세굴과 같은 결함이 의심되는 경우나, 사용제한 중인 시설물의 사용여부 등을 판단
정밀안전 진단		안전점검으로 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 발견하기 위하여 정밀한 외관조사와 각종 측정·시험장비에 의한 측정·시험을 실시 기록하여야 하며, 구조물 전체 부재별 상태를 평가하고 시설물 전체에 대한 상태평가결과를 결정 정밀안전진단 결과 보수·보강이 필요한 경우방법 제시

Table 11과 같이 안점점검별 실시 범위에 대하여 세부지침에서 대상시설을 기본시설물, 부대시설물, 기타시설물로 나누어 규정하고 있다.

Table 11 Target range of safety check and safety inspection

구 분		시설물명	점검 및 진단 실시범위		
			정기 점검	정밀 점검	정밀 안전진단
잔교식	기본 시설물	바닥판	○	○	○
		가로보,세로보	○	○	○
		하부구조(수상부)	○	○	○
		하부구조(수중부)	○	○	○
	부대 시설물	토류벽	○	○	○
		계선주, 방충재, 차막이	○	○	○
중력식 및 널말뚝식	기본 시설물	전기방식설비 (수중부)		○	○
		상부공	○	○	○
		본체부(수상부)	○	○	○
		본체부,기초부(수중부)	○	○	○
	부대 시설물	에이프론	○	○	○
		계선주, 방충재, 차막이	○	○	○
기타 시설물		하역시설의 기초	○		
		레일	○		
		부대 건축물	○		

또한 세부지침에서 시설물별 중대한 결함의 정도에 따른 등급을 규정하고 있고, 점검대상 시설에 대하여 점검 시설물별 안전점검 종류별에 맞게 점검항목을 규정하고 있다.

기본 시설물에 대하여 파손, 충격손상, 균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열), 박리(완전박리, 부분박리), 마모, 침식, 침하, 도장손실 상세 검사 항목을 규정하고 있다. 이러한 검사 항목별 상태평가를 위하여 재료검사 및 상태검사에 대한 상세한 방법을 규정하고 있고, 검사 결과에 따른 평가 기준을 마련하여 정량적

인 평가가 이루어지도록 제안하고 있으며, 평가 결과에 따른 보수와 보강 방법을 제시하고 있다.

그러나 계선주를 포함한 부대시설물은 시설물의 상태를 평가를 위한 상세한 검사 방법 및 평가기준이 없으며, 계선주의 경우 설치 기준에 따른 설치 상태(위치, 개수 등)와 계선주의 파손, 손실 상태 확인으로 규정되어 있다. 상태 확인을 위한 상세한 검사 방법 및 평가 기준을 마련하지 않아 검사자의 주관적 평가에 의하여 검사가 이루어지고 있다.

### 2.3.2 국외 계선주 관리 기준 · 체계 및 지침 분석

#### 2.3.2.1 일본 계선주 관리 기준 · 체계 및 지침 분석

일본의 계선주 관리 기준에 대하여 분석한 결과 국토교통성의 『항만법』에서 규정하고 있으며, 제56조 2의 2항에서 계선주를 포함한 계류시설을 ‘기술 기준 대상 시설’로 지정하여 유지관리를 위한 안전점검을 국토교통성의 기준에 따라 시행하도록 명시하고 있다. [12] 관련 국토교통성의 기준으로 『항만시설의 점검 진단 지침』 [13]에서 안전점검의 검사 종류 및 시기를 규정하고 있으며, 『항만 시설의 유지관리 계획 수립 지침』 [14]에서는 국내 세부지침과 같이 시설물별 안전점검 시 검사 항목과 검사 방법 및 평가 방법을 규정하고 있다. 추가적으로 『특정 기술 기준 대상 시설에 대한 보고 및 현장검사 지침 가이드라인』에서 점검 보고서 및 계획표 작성에 대하여 기술하고 있다. [15]

Table 12는 항만시설의 점검 진단 지침에서 규정한 일본의 항만시설물별 안전점검의 종류와 실시시기이다. 일본의 항만시설에 대한 점검 진단 빈도는 정기점검은 일반 시설은 5년 내 1회, 중요 항만시설은 3년 마다 실시하는 것으로 권고 명시하고 있고, 상세정기점검은 일반 시설은 사용 기간 중 1회 및 사용 기간 연장 시 시행하도록 규정하고 있으며, 중요 항만시설은 10년에서 15년 마다 한번 이상 실시하는 것이 원칙이나 중요항로에 인접한 시설물은 10년 이내 한번 이상 실시하도록 규정하고 있다.

Table 12 Inspection regulations (inspection guidelines for port facilities)

항만 시설의 점검 진단 지침		
구분	일단 항만시설	중요 항만시설
대상 시설	중요 항만시설 이외	1. 경제 활동에 중대한 영향을 미치는 시설 (간선화물 운송 시설, 위험물 시설, 주요 항로에 접해 특정 기술 기준 대상 시설 등) 2. 방재 상 중요한 시설 (내진 강화 안벽 해일 방파제 등) 3. 인명에 중대한 영향을 미치는 시설 (여객이 사용하는 시설 등)
실시 시기	일반 정기 점검 : 매 5년 상세 정기 점검 : - 사용 기간 중 1회 - 사용 기간 연장 시	일반 정기 점검 : 매 3년 상세 정기 점검 : - 10 ~ 15년 이내 1회 - 주요 항로에 접한 시설 : 10년 이내 1회

Table 13은 항만 시설의 유지관리 계획 수립 지침에서 규정한 시설물의 상태 등급과 평가 기준이다. A 등급은 시설물의 성능이 매우 저하된 상태이고 B 등급은 성능이 저하된 상태, C 등급은 외형 변형이 있으나 성능이 저하되지 않은 상태, D 등급은 외형 및 성능이 충분히 유지되는 상태로 명시되어 있다.

이러한 등급평가를 위하여 시설별 별로 종류를 1에서 3종으로 구분하였다. 1종과 2종 시설물에 대하여 파손, 충격손상, 균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열), 박리(완전박리, 부분박리), 마모, 침식, 침하, 도장손실 상세 검사 항목을 규정하고 있고, 검사 항목별 상태평가를 위하여 재료검사 및 상태검사에 대한 상세한 방법을 규정하고 있으며, 평가 결과에 따른 보수와 보강 방법을 제시하고 있다. 또한 안전점검 시 검사 항목별 성능 미달이 평가된 경우 해당 검사 별로 유지 관리를 위한 세부 검사 시기를 제시하고 있다.

그러나 3종 시설물의 경우 검사 항목만을 규정하고 있으며, 계선주는 3급 시

설로 분류되어 육상에서 눈으로 본체의 열화와 손상 및 도장 등의 외부 상태 파악을 기본으로 계선주 기둥 주위 콘크리트의 변형에 대하여 파악하도록 규정하고 있고, 이러한 검사 항목에 대하여 육안의 검사를 제외한 계선주 재질 및 강도 등에 대한 상세한 검사 기준 및 보수기준은 제시하고 있지 않았다.

**Table 13** Safety rating of the facility (guidelines for maintenance planning of port facilities)

시설물 종류	시설물의 상태			
	A	B	C	D
I 종	여러 검사 항목에서 성능이 저하 평가	1개 검사 항목에서 성능 저하 평가	A, B, D 이외	-
II 종	여러 검사 항목에 대하여 성능이 저하된 상태			
III 종	-		D 이외	

### 2.3.2.2 OCIMF 및 EUROTECH의 계선주 관리 지침 분석

계선주 유지관리를 위한 관련 규정 외에 추가적인 지침들 분석하였으며, OCIMF(Oil Companies International Marine Forum)에서는 위험물 운반의 안전을 위하여 관련 기준들을 제시하며, 그 중 유류와 가스터미널의 항만시설관리를 위하여 관련 가이드인 Jetty Maintenance & Inspection Guide에서 전기, 유압, 리프팅 장비 등 화물 운송에 대한 최소 검사 기준을 제안하고 있으며, 그 중 Table 14와 같이 계선주의 검사 항목과 항목별 검사 주기 등이 기술되어 있다. [18] OCIMF에서 제안하고 있는 검사 가이드는 위험물을 취급하는 부두에 대하여 적용되고, 일반 선박 부두에 대하여는 검사 항목과 주기를 적용하지 않으며, 선박이 선박 규모를 초과하여 접안하는 경우 검사가 제안 기준에 따라 이루어 지도록 권고하고 있다.

**Table 14** Inspection frequency of bollard (OCIMF)

구 분	선박 접안전	6개월	1년	5년
육안 상태 검사	○			
연결부 결합 상태		○	○	○
SWL 표식		○	○	○
지지 구조 검사		○	○	○
부식 파손 검사		○	○	○
이동 및 침하 검사				○

다음으로, 계선주 제조사인 EUTOTECH BENELUX COMPANY는 네덜란드를 기반으로 계선주, 방충재, 항만설비, 기타 강재제품을 제조하는 회사로, 자사의 계선주에 대한 운영 및 유지 매뉴얼에서 권고하고 있는 관리 기준에 대하여 검토 하였다. Table 15와 같이 계선주에 대하여 검사주기를 제안하고 있으나 검사 별 상세 항목 및 보수방법은 제시하지 않고 있으며, 다만 정밀 검사 시 검사 결과에 따라 계선주의 교체, 보수 등을 시행하며 정밀 검사의 경우 전문 기술자를 통하여 검사를 제안하고 있다.

**Table 15** EUTOTECH BENELUX COMPANY' inspection frequency of bollards

구 분	육안 검사	임시 검사	정밀 검사
강재 구조	매년 1회	필요시	15~25년
도색	매년 1회	필요시	10년
지지대 및 연결부	매년 1회	필요시	15~25년

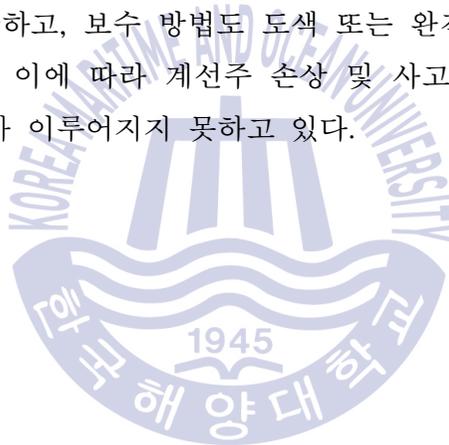
### 2.3.3 국내·외 계선주 관리 기준 · 체계 및 지침 분석결과

국내·외 계선주 관리 체계 관련 규정을 검토를 위하여 국내 관련 법령과 세 부지침 및 일본의 관련 법령 및 세부지침을 분석하였으나, 유럽의 경우 관련

법령 및 세부 지침을 확인하지 못하여 계선주와 관련한 OCIMF의 가이드라인과 계선주 제조사에서 제공하는 매뉴얼을 통하여 관리 지침을 추가로 비교 분석하였다.

국내·외 모든 계선주 관리와 관련한 규정 및 지침에서 검사 별 기간, 항목에 대하여 규정하고 있으나 검사 방법은 육안을 통한 검사자의 판단에 따라 상태를 평가하도록 규정하고 있고, 상세한 검사 방법과 및 평가 방법 및 이에 따른 보수 및 관리에 관한 상세한 규정은 존재하지 않았다. 때문에 검사 시 검사자의 판단에 따라 상태에 대하여 임의적인 평가가 이루어지고 있다.

계선주 유지관리를 위한 상세한 검사와 평가 방법이 규정되지 않아 계선주의 파손 등 육안으로 명확히 식별 가능한 손상이 발생하기 전까지 계선주에 대한 안전 상태 평가가 곤란하고, 보수 방법도 도색 또는 완전히 손상이 발생된 후 교체에 의존하고 있다. 이에 따라 계선주 손상 및 사고가 발생하기 전에 성능 유지를 위한 유지관리가 이루어지지 못하고 있다.



## 제 3 장 계선주의 성능 평가

### 3.1 계선주 견인력 분석

신규 설치되는 계선주의 성능을 평가하기 위하여 계선주에 작용하는 견인력에 대한 강도를 평가하였다. 견인력에 대한 강도 평가를 위하여 신규 항만 및 부두 개발을 위하여 수행되었던 해상교통안전진단의 계류안전성 평가 중 계선주의 작용 견인력과 계선주 강도와 비교하여 계선주의 성능을 평가 하였다.

계선주에 작용하는 견인력을 포함한 계류안전성 평가를 위해서는 바람, 조류 및 조위와 같은 항만의 자연적 외력조건, 파랑과 같은 환경 외력, 선박의 각종 제원, 하중상태에 따른 흘수 변화, 풍압면적의 변화, 계류색의 재질, 특성 및 배치 방법, 부두형상, 방충재(Fender)의 특성과 위치, 계선주(곡주 및 직주)의 위치 및 특성 등에 대한 종합적이고 포괄적인 상세 정보가 이용된다. 따라서 계류안전성 평가는 대상 해역의 자연환경은 물론, 계류 대상선박의 구체적인 제원, 계류 방법, 계류 시설물(방충재 계선주 등)에 대한 제반 사항들을 종합적으로 고려하여 체계적으로 분석해야 한다.

계류안전성 평가는 『해상교통안전진단시행지침』에 따라 자연환경과 선박조건을 설정하며 [31], 선박조건은 최대 계류선박의 주로 사용하는 접안 형태를 기준으로 한다. 시행지침상의 자연환경은 Table 16과 같으며 대상선박의 계류가 가능한 최악 조건으로 설정한다.

해상교통안전진단시행지침에 따라 수행된 계류안전성 평가 결과 중 항만 신설 또는 신규 터미널의 개발에 따라 신규로 설치되는 계선주에 작용하는 최대 작용력을 결과와 계선주 강도와 비교 분석하여 성능을 평가하였다.

Table 16 External force on mooring analysis

항목	설정기준
바람	① 풍속: 대상해역에서 출현 가능한 순간 최대풍속 또는 대상선박의 계류가 가능한 순간 최대 풍속 ② 풍향: 대상해역에서 출현빈도가 높으면서 계류선박에 불리하게 작용하는 풍향
조류 및 조위	① 대상 해역에 작용하는 최강창조류 또는 최강낙조류를 적용 ② 대상 해역의 조위 변동을 고려(대조기)하되, 수심은 MSL(평균해수면) 적용 가능 ③ 신설 부두의 경우 부두 완공상태를 고려한 조류 분포 사용
파랑	① 파고: 하역가능 최대 파고 ② 파향: 대상 해역의 주 파향 혹은 계류선박에 불리하게 작용하는 파향 ③ 파주기: 위 ①에 설정한 파도의 주기 ④ 신설 부두의 경우 부두 완공상태를 고려한 파랑 분포 사용

해상교통안전진단의 계류안전성 평가 중 7건의 해상교통안전진단 및 관련 보고서에서 수행된 울산의 총톤수 5,000톤급, 8,000톤급의 SK가스부두와 9,000톤급, 65,000톤급의 S-oil 2부두 [1], 성산포항 4,000톤급 부두 [19], 화순항 총톤수 7,000톤급 부두 [20], 25,000 톤급 SK 3부두 [21], 포항의 총톤수 50,000톤급 국제여객부두 [22], 영흥항 총톤수 100,000톤급 제3연료하역부두 [23], 인천항 CLX 150,000톤급 제3부두 [24], 8개 부두 10개 선석의 계류안전성 평가 결과를 활용하여 조사 하였으며, 다음 Fig. 19는 계류안전성 평가를 위한 모델 예시이다.

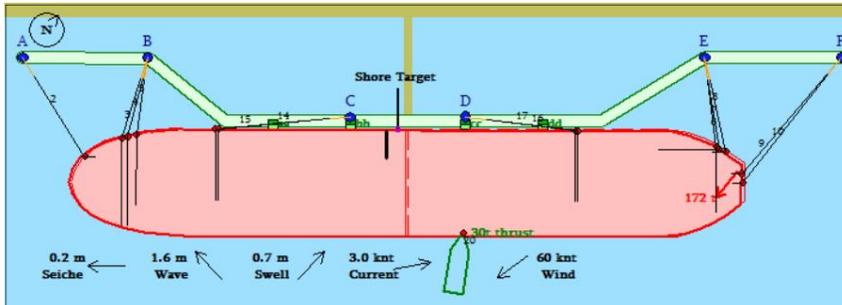


Fig. 19 Mooring analysis OPTIMOOR SW (Example)

기존 수행되었던 해상교통안전진단의 계류안전성 평가는 화물선, 유조선, 가스운반선, 여객선, 관광선, 석유제품운반선 등 다양한 선종에 대하여 DWT와 G/T를 혼용하여 평가가 수행되었다. 이러한 평가 결과를 비교하기 위하여 항설 기준상의 선종별 DWT와 G/T 환산 기준에 따라 G/T로 통일하여 비교 분석하였다.

### 3.1.1 4,000 G/T 선박 계류안전성 평가

성산포항의 총톤수 4,000톤급 여객선박에 대하여 외력조건 풍속 13m/s, 조류 0.2m/s, 유의파고 1.0의 계류안전성 평가 결과 Table 17과 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 35톤 이하로 분석되었으며, 최대 10.2톤으로 허용 하중의 30%이하로 평가되었다.

Table 17 Maximum tractive force acting on bollard (4,000ton)

Bollard [t]	A [t]	B [t]	C [t]	D [t]
35	5.8	6.1	6.5	10.2

### 3.1.2 5,000 G/T 선박 계류안전성 평가

SK 가스부두의 총톤수 5,000톤급 LPG 운반선에 대하여 외력조건 풍속 22m/s, 조류 0.5m/s, 유의파고 1.0 ~ 2.0m의 계류안전성 평가 결과 Table 18과 같이 모

든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 35톤 이하로 분석되었으며, 최대 26.9톤으로 허용 하중의 77%이하로 평가되었다.

**Table 18** Maximum tractive force acting on bollard (5,000ton)

Bollard [t]		A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]
Case 1	35	15.1	19.9	16.6	15.2	17.5	13.8
Case 2	35	16.9	26.9	16.6	15.3	24.5	17.4

### 3.1.3 7,000 G/T 선박 계류안전성 평가

화순항의 총톤수 7,000톤급 여객선박에 대하여 외력조건 풍속 20m/s, 조류 0.1m/s, 유의파고 0.5m의 계류안전성 평가 결과 Table 19와 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 50톤 이하로 분석되었으며, 최대 37.1톤으로 허용 하중의 75%이하로 평가되었다.

**Table 19** Maximum tractive force acting on bollard (7,000ton)

Bollard [t]		A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]
	50	36.4	31.4	0.4	37.1	34.4	17.8

### 3.1.4 8,000 G/T 선박 계류안전성 평가

SK 가스부두의 총톤수 8,000톤급 LGP운반선에 대하여 외력조건 풍속 22m/s, 조류 0.5m/s, 유의파고 1.0 ~ 2.0m의 계류안전성 평가 결과 Table 20과 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 35톤 이하로 분석되었으며, 최대 20.4톤으로 허용 하중의 59%이하로 평가되었다.

**Table 20** Maximum tractive force acting on bollard (8,000ton)

Bollard		A	B	C	D	E	F
[t]		[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Case 1	35	12.8	11.7	14.8	13.0	11.4	15.1
Case 2	35	16.0	17.6	15.7	14.8	20.4	20.3

### 3.1.5 9,000 G/T 선박 계류안전성 평가

S-oil 2부두의 총톤수 9,000톤급 위험물운반선박에 대하여 외력조건 풍속 22m/s, 조류 0.5m/s, 유의파고 1.0 ~ 2.0m의 계류안전성 평가 결과 Table 21과 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 50톤 이하로 분석되었으며, 최대 26.2톤으로 허용 하중의 53%이하로 평가되었다.

**Table 21** Maximum tractive force acting on bollard (9,000ton)

Bollard		A	B	C	D	E	F
[t]		[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Case 1	50	17.6	16.7	23.5	18.7	17.5	13.8
Case 2	50	21.3	18.3	24.3	26.2	24.5	17.4

### 3.1.6 25,000 G/T 선박 계류안전성 평가

SK 3부두의 총톤수 25,000톤급 위험물운반선박에 대하여 외력조건 풍속 30m/s, 조류 0.2m/s, 유의파고 1.0 ~ 1.5m의 계류안전성 평가 결과 Table 22와 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 100톤 이하로 분석되었으며, 최대 43.5톤으로 허용 하중의 44%이하로 평가되었다.

**Table 22** Maximum tractive force acting on bollard (25,000ton)

Bollard		A	B	C	D	E	F
[t]		[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
100		43.5	42.9	34.4	26.9	40.6	41.8

### 3.1.7 50,000 G/T 선박 계류안전성 평가

포항항 여객부두의 총톤수 50,000톤급 여객선박에 대하여 외력조건 풍속 : 14m/s, 조류 : 0.1m/s, 유의파고 0.5m의 계류안전성 평가 결과 Table 23과 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 100톤 이하로 분석되었으며, 최대 21.1톤으로 허용 하중의 22%이하로 평가되었다.

**Table 23** Maximum tractive force acting on bollard (50,000ton)

Bollard [t]	A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]	G [t]	H [t]
100	18.0	14.3	18.0	11.5	11.0	17.7	21.1	19.3

### 3.1.8 65,000 G/T 선박 계류안전성 평가

울산항 S-oil 2부두의 총톤수 65,000톤급 위험물운반선박에 대하여 외력조건 풍속 22m/s, 조류 0.5m/s, 유의파고 1.0 ~ 2.0m의 계류안전성 평가 결과 Table 24와 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 100톤 이하로 분석되었으며, 최대 99.6톤으로 허용 하중 이하로 평가되었다.

**Table 24** Maximum tractive force acting on bollard (65,000ton)

Bollard [t]	A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]
Case 1 100	36.1	74.3	27.0	23.9	57.6	47.6
Case 2 100	38.7	97.9	35.6	25.1	99.6	66.9

### 3.1.9 100,000 G/T 선박 계류안전성 평가

영흥항 제3연료 하역부두의 총톤수 100,000톤급 벌크선박에 대하여 외력조건 풍속 30m/s, 조류 1.3m/s, 유의파고 1.5m의 계류안전성 평가 결과 Table 25와 같이 모든 계선주에서 계선주의 견인력 기준 100톤 이하로 분석되었으며, 최대

21.1톤으로 허용 하중의 22%이하로 평가되었다.

**Table 25** Maximum tractive force acting on mooring Post (100,000ton)

Bollard [t]	A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]
100	31.4	21.6	21.7	54.4	23.5	22.1

### 3.1.10 150,000 G/T 선박 계류안전성 평가

인천항 CLX 3부두의 총톤수 150,000톤급 유류운반선박에 대하여 외력조건 풍속 30m/s, 조류 1.5m/s, 유의파고 2.0m의 계류안전성 평가 결과 Table 26과 같이 모든 계선주에서 계선주 직주의 견인력 기준 200톤 이하로 분석되었으며, 최대 197.3톤으로 허용 하중 이하로 평가되었다.

**Table 26** Maximum tractive force acting on mooring Post (150,000ton)

Bollard [t]	A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]
200	191.7	84.5	38.1	20.7	59.7	197.3

### 3.1.11 계류안전성 평가 검토 결과

국내에 기 수행되었던 7건의 해상교통안전진단에서 수행된 8개 부두, 10개 선석의 계류안전성 평가 결과, Table 27과 같이 계선주에 작용하는 견인력은 항설 기준의 견인력보다 이하로 평가되었으며, 각 부두별 계선주에 작용하는 규격 대비 최대 견인력의 평균은 57.1%로 분석되었다.

규격 대비 최대 견인력의 경우 부두별 환경 특성에 따라 다양하게 평가 되었으나 GT 65,000과 150,000에서 규격 대비 99%의 견인력이 확인 되었으나, 계류 안전성 평가 수행 시 항설 기준의 견인력 산출 외력 조건보다 강한 외력 조건에서 평가하였으며, 항설 기준상의 견인력을 이하로 분석된다.

Table 27 Maximum tractive force acting on Bollard

Ship [G/T]	Bollard [t]	항설 기준 (직주)	항설 기준 (곡주)	A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]	G [t]	H [t]
4,000	35	50	35	5.8	6.1	6.5	10.2				
5,000	35	50	35	15.1	19.9	16.6	15.2	17.5	13.8		
	35	50	35	16.9	26.9	16.6	15.3	24.5	17.4		
7,000	50	70	50	36.4	31.4	0.4	37.1	34.4	17.8		
8,000	50	70	50	12.8	11.7	14.8	13.0	11.4	15.1		
	50	70	50	16.0	17.6	15.7	14.8	20.4	20.3		
9,000	50	70	50	17.6	16.7	23.5	18.7	17.5	13.8		
	50	70	50	21.3	18.3	24.3	26.2	24.5	17.4		
25,000	100	150	100	43.5	42.9	34.4	26.9	40.6	41.8		
50,000	100	150	100	18.0	14.3	18.0	11.5	11.0	17.7	21.1	19.3
65,000	100	200	100	36.1	74.3	27.0	23.9	57.6	47.6		
	100	200	100	38.7	<b>97.9</b>	35.6	25.1	<b>99.6</b>	66.9		
100,000	100	200	100	31.4	21.6	21.7	54.4	23.5	22.1		
150,000	200	200	150	<b>191.7</b>	84.5	38.1	20.7	59.7	<b>197.3</b>		

계류안전성 평가 결과, 국내 항만에 신규로 설치되는 계선주는 항설기준에 따라 적합한 성능으로 설치되고 있으며, 계류안전성 확보가 가능한 외력 조건하에서 평가된 계선주의 견인력은 모두 항설 기준 이하로 분석되었다.

### 3.2 계선주 손상 사례 분석

계선주 견인력 평가 결과 분석에 따라 국내 항만에 신규로 설치되는 계선주의 성능은 항설기준의 설치기준에 적합하게 설치되고 있으나 과거 설치되어 현재 사용 중인 계선주에서 손상 및 파손 사고가 발생하고 있다.

한국시설안전공단의 세부지침 해설서 [26], 울산항 사고 사례를 조사하였으며 [1], 다음은 국내 계선주 손상 및 파손 사례이다.

Fig. 20는 계선주의 부식이 심하게 진행된 사례로 설치 후 시간의 경과에 따라 대기, 해수 등에 의한 자연 부식과 계류삭 등 계선주 사용에 따른 부식이 원인으로 분석되고 Fig. 21 ~ 22는 계선주의 파손 사례로 외부에 의한 충격 또는 재질 불량으로 추정된다. Fig. 23은 계선주 절손 사례로 설치 후 부식 등의 외관 손실에 따른 성능 저하로 인한 강도 부족으로 평가된다.



Fig. 20 Case of damaged bollard by corrosion



Fig. 21 Case of damaged bollard by fracture



Fig. 22 Case of damaged bollard by fracture



Fig. 23 Case of damaged bollard by broken

안전점검에서의 사고사례 외 2014년 울산 본항의 일반부두에서 선박이 접안 중 계류선의 장력을 이기지 못하고 계선주가 파손된 사고, 2009년 여수 낙포부두에서 선박이 접안 중 계선주가 탈락된 사고가 발생하였다. 또한 2013년 미국 앨라배마 주 모빌항에서 2013년 크루즈 선박 Carnival Triumph 호가 접안 중 부두의 계선주 탈락되어, 계류 안전성을 잃고 반대편 부두에 계류 중인 선박과 충돌한 사고가 발생하였다.

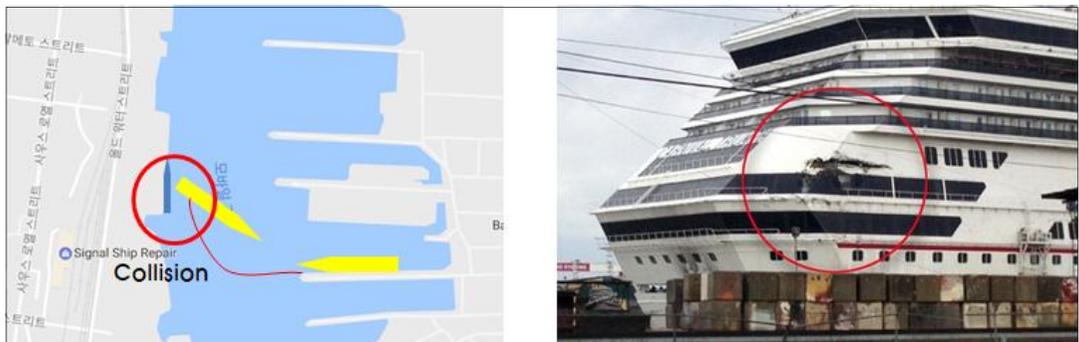


Fig. 24 Accident of carnival triumph

선박이 접안 중 계류안전성 확보를 위해, 계선주의 성능(강도) 확보는 필수 사항이고, 국내에 신규로 설치되는 계선주는 3.1절과 같이 견인력에 따라 적합한 성능으로 설치되고 있다. 그러나 과거 설치되어 운용 중인 계선주에서 부식 및 성능 저하에 따른 사고가 발생하고 있다. 이는 앞서 2.2절에서 분석한 바와 같이 계선주 유지관리를 위한 상세한 방법 및 평가와 보수를 위한 방안이 마련되지 않아 계선주의 성능(강도) 확보를 위한 유지관리가 적절하게 이루어지지 못하여 발생하는 것으로 분석된다.

### 3.3 계선주 부식 측정

3.2절의 손상 사례와 같이 시간의 경과에 따라 부식에 인한 손상이 발생하고 있으며, 이에 따라 현재 설치된 계선주의 부식 상태를 평가하고자 계측을 실시하였고, 외판의 두께를 측정하여 계선주의 부식을 측정하였다.

두께 계측은 한국해양대학교 실습선 부두의 한나라호와 한바다호가 접안 중인 선석의 계선주에 대하여 측정을 실시하였고, 두께 측정에는 계선주 재질인 탄소강 두께 계측기인 초음파 두께 계측기를 이용하여 측정하였으며, AR 850+ 모델의 강제 전용 측정기를 이용하였다. 측정기 사양은 Table 28과 같다.

Table 28 Specifications of ultrasonic thickness gauge

AR 850+ 초음파 두께 계측기		
	측정범위	1.2~225.0mm(steel)
	정확도	±(1%±0.1)mm
	속도범위	1000~9999m/s
	분해능	(<100)0.1mm
	최소측정사이즈	Φ 20 * 3mm(Steel)
	동작주파수	5MHz

한국해양대학교 실습선 부두에 25톤 규모의 계선주(곡주)가 설치되었으며, 상세 제원은 Fig. 25와 같고, 두께 21mm의 계선주가 Fig. 26과 같이 계선주 하부 160mm를 부두내로 매립하여 설치되었다.

설치시기는 한나라 선석은 83년도, 한바다 선석은 90년도에 설치되어 운용 중에 있다.

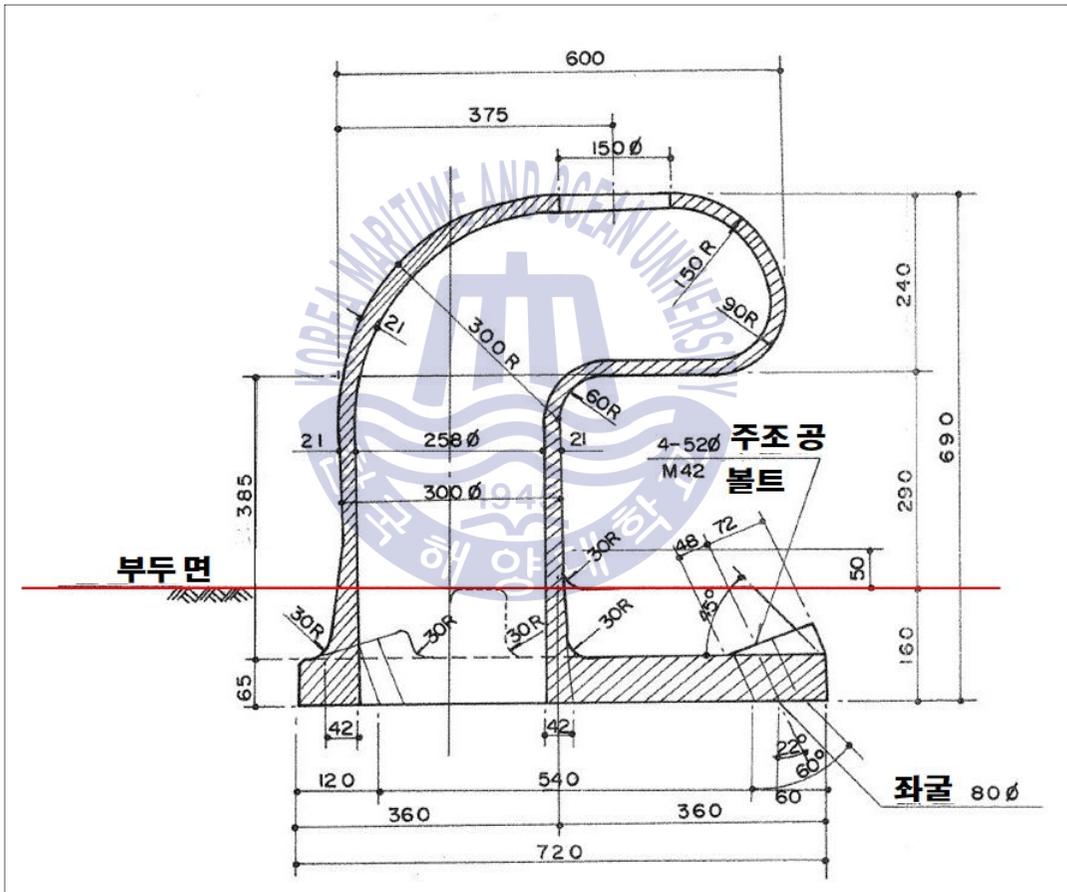


Fig. 25 Specifications of Bollard [25T]

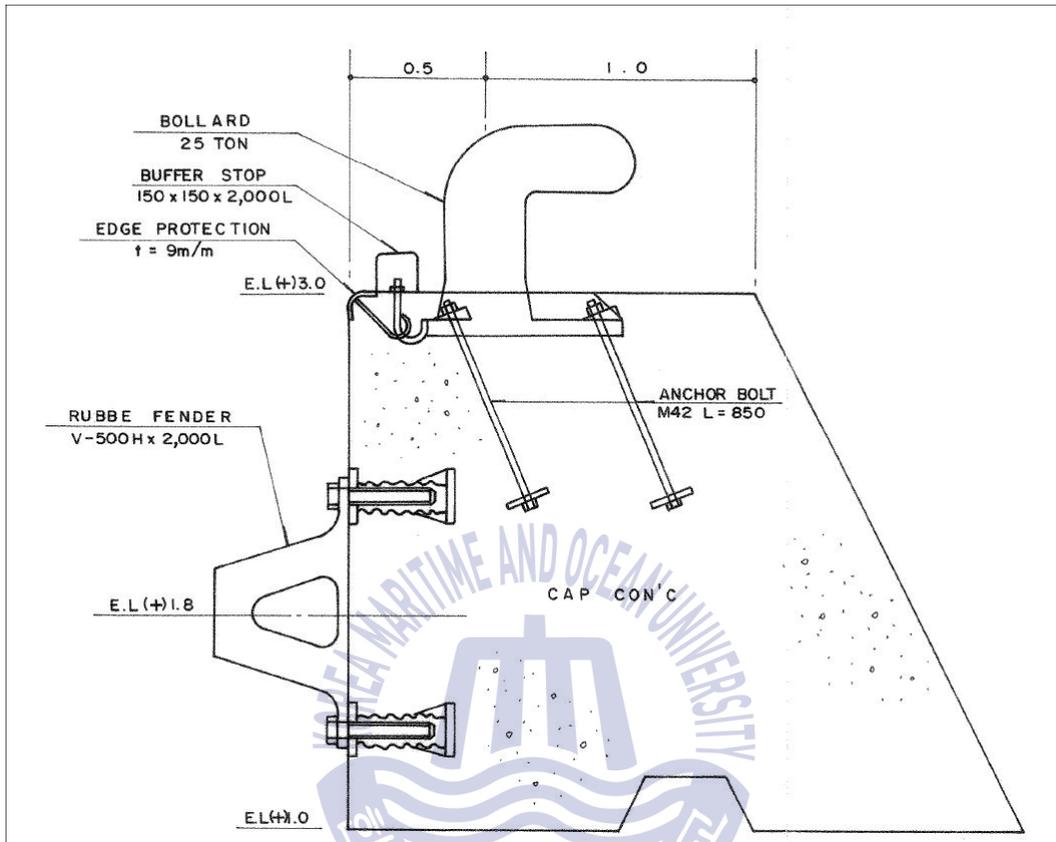


Fig. 26 Drawing of KMOU Wharf

한국해양대학교 실습선 부두의 계선주를 대상으로 Fig. 27과 같이 14기의 계선주에 대하여 두께 계측을 실시하였고, 14기 계선주 중 계선주 1번(B1)에서 계선주 8번(B8)까지는 한나라호에서 사용하는 계선주이며, 계선주 7번(B7)에서 계선주 14번(B14)까지 한바다호에서 사용하는 계선주이고 7번과 8번 계선주를 한바다호, 한나라호에서 공용으로 사용하고 있다.

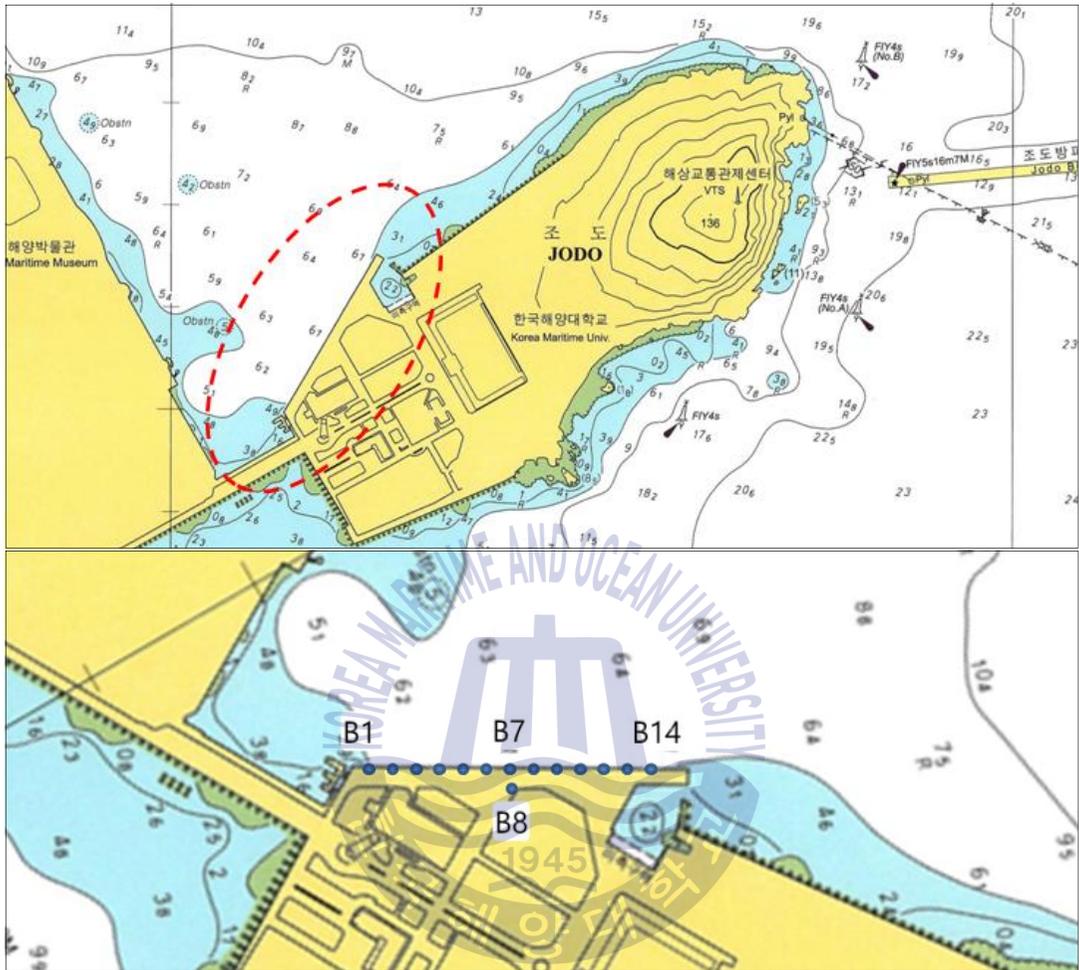


Fig. 27 Place of measuring bollard's thickness

계선주별 두께 계측 위치는 Fig. 28과 같이 계선주의 계류색 등의 영향으로 파악 있거나 부식이 심한 부위 및 손상이 심한 부위를 선정하여 계선주 기준 좌측과 우측으로 나누어 계측을 실시하였다.

육안으로 확인 시 일반적으로 계선주에서 주요 손상부위는 계류색이 사용되는 지점(선박이 계류를 위해 계선주에 계류삭을 매어두는 부위) 식별되었으며, 선박에 의한 견인력으로 인해 계류삭이 계선주에 견인력을 작용함에 따른 마모 및 마찰 등에 따른 손상으로 분석되었다.



Fig. 28 Measuring position of bollard's thickness

계선주별 두께 계측 결과를 정리하면 Table 29와 같다. 계선주 계측 시 육상에서 부두를 바라보는 시점을 기준으로 좌측면(Port side)과 우측면(Stb'd side)에서 계선주 기둥에서 육안으로 손상(부식, 침식, 마모 등)이 심한 부위를 측정하였고, 부두면 기준 10 cm ~ 20 cm 높이에서 측정을 실시하였다.

계선주 7번에서 좌측면에서 4.5mm로 가장 얇은 두께가 계측되었으며, 해당 계선주는 한나라호와 한바다호가 모두 사용하는 계선주로 다수의 계류색이 Fig. 29과 같이 매어지고 있고, 좌측면은 한바다호의 계류색이 매어지는 부위이다.

**Table 29** The result of measuring the bollard thickness

계선주	두께 계측 결과 [mm]							
	Port side				Stb'd side			
	①	②	③	④	①	②	③	④
B1	5.7	6.8	16.0	18.5	6.8	11.0		
B2	8.4	8.6	11.7	12.1	7.8	11.0	12.3	18.5
B3	9.0	9.9			6.3	6.6	7.8	9.4
B4	8.8	9.8	12.2	16.3	5.8	6.2	7.6	8.3
B5	6.6	8.1	9.0		5.8	9.8	14.7	
B6	9.0	9.8	10.5		5.1	5.6	9.1	11.3
B7	<b>4.5</b>	6.0	6.7	6.8	7.7	7.8	8.5	10.3
B8	6.5	7.5	8.1	9.8	7.3	8.9	9.1	9.4
B9	11.8	13.4			9.2	9.3		
B10	16.6				6.9	7.2		
B11	6.1	8.3			8.3	17.5		
B12	6.0	10.6	9.4	12.7	7.6	10.4	12.3	
B13	13.1	14.3			10.8	12.5		
B14	8.7	15.7			7.0	8.0	8.1	10.0



Fig. 29 Mooring ropes status of No.7 bollard(KMOU wharf)

한국해양대학교 실습선 부두의 계선주 측정 결과와 같이 계선주 설치 후 시간의 경과에 따라 부식 등에 의해 두께 손실이 발생한다. 3.1절의 성능 평가 결과 신규 설치 시 적합한 성능의 계선주가 설치되고 있으나 계측 결과와 같이 시간의 경과에 따라 부식 등에 의해 외판의 손실이 발생하고 있으며, 이러한 부식 등에 의한 두께 손실에 따라 3.2절과 같이 계선주의 손상 및 사고가 발생하고 있다.

계선주 손상 및 사고 방지를 위한 유지관리 방안 마련을 위하여 계선주 성능 평가 방법을 제시하고, 시간의 경과에 따른 성능 평가 결과를 분석하여 성능 유지를 위한 유지관리 방안이 필요하다.

## 제 4 장 계선주 응력 및 강도 평가

### 4.1 계선주 성능 평가 기준

계선주에 선박에 의한 견인력이 작용하게 되면 수평 방향과 수직 방향에서 하중이 발생하게 되고, 이러한 수평력과 수직력에 따라 계선주 구조상 휨이 발생하게 하는 굽힘력과 되며, 수평력에 의해 계선주의 탈락을 발생시키는 전단력이 발생한다. 따라서 계선주에는 굽힘력에 따라 휨 응력(Bending Stress)이 발생하고, 전단력에 따라 전단응력(Shearing Stress) 이 발생하며 항복강도를 초과하게 되면 파손, 절단, 탈락이 발생하게 된다.

이에 따라 계선주의 재질 및 규격에 따른 강도와 계선주 작용 응력과 비교하여 계선주의 성능을 평가하고 항복 강도에 도달하는 계선주 상태를 분석하여 평가 기준으로 사용하였다.

#### 4.1.1 계선주 강재 특성

견인력에 따른 휨 응력과 전단응력을 산출하여 계선주의 항복강도와 비교하기 위하여 재질에 따른 최소항복강도와 휨 응력과, 전단응력에 따른 저항 계수를 확인하여 각 응력에 따른 최소항복강도를 분석하였다.

국내 계선주의 재질은 항만 및 어항 설계기준·해설(2014)에서 KS D 3710 탄소강 단강품으로 규정하고 있으며, 『한국산업규격』에서 SF490A와 SF540A으로 구분되며 [3], 그 중 SF490A(SF45A)으로 계선주가 제작되고 있다. SF490A의 재료적 성질은 탄소 0.5% 이하의 탄소강으로 최소항복강도 ( $F_y$ )는 245 Mpa (2,498kgf/cm<sup>2</sup>)이다.

SF490A의 한계 상태에서의 항복강도를 산출하기 위하여 극한한계상태에서의 휨응력과 전단응력에 대한 저항계수를 『도로교 설계기준 한계상태설계법』에서 분류된 강재의 저항계수 값인 휨에 대한 저항계수 ( $\phi_f$ )와 전단에 대한 저항계

수( $\phi_v$ )로 각각 1.00으로 기준하였으며 [25], 이에 따라 탄소강 단강품인 SF490A는 휨 응력과 전단응력에 대하여 245Mpa 이상의 응력에서 항복점에 도달한다.

## 4.1.2 계선주 응력 산정 평가 기준

계선주 성능검토를 위하여 탄소강 단강품인 SF490A 항복 도달점인 최소 항복강도 245Mpa를 기준으로 계선주 제원별 견인력에 따른 휨 응력과 전단응력을 산출한다.

### 4.1.2.1 휨 응력 평가

계선주에 작용하는 휨 응력 (Bending Stress)은 식 (1) ~ (3)으로 계선주 제원에 따른 휨 응력의 항복강도 도달 여부를 평가하였다. 식 (2)와 식 (3)은 휨모멘트와 단면계수를 나타낸 것이다.

식 (4)를 통하여 계선주 규격별 휨 응력의 한계 항복강도에 도달하는 두께를 계산하여 계선주별 최소 필요 두께가 산출되어 진다.

#### 1) 휨 응력 ( $f_{max}$ )

휨 모멘트에 의해 발생하는 단면에 수직인 응력으로 휨 모멘트를 단면의 단면계수로 나눠 줌으로서 산출하며, 계선주의 단면은 원의 단면계수를 통하여 산출되고, 최대 휨 응력은 강재의 휨에 대한 최소 항복강도를 초과하여서는 안 된다.

$$f_{max} = \frac{M_{max}}{S} < 245Mpa \quad (1)$$

단,  $M_{max}$  : 최대 휨 모멘트 [N] ,  $S$  : 계선주 단면계수(원) [mm]

$\phi_f \cdot F_y$  : 휨 응력에 대한 최소 항복 강도 (245Mpa)

#### 2) 최대 휨 모멘트( $M_{max}$ )

계선주에 작용하는 휨에 대한 모멘트로 선박의 규모별 견인력에 기초하여 각 작용점에서 작용하는 수직력과 수평력의 합이다.

$$M_{max} = V_V \times b + V_H \times h \quad (2)$$

단  $V_V$  작용 수직력 [N],  $b$  수직력 작용점 [mm],

$V_H$  작용 수평력 [N],  $h$  수평력 작용점 [mm]

3) 단면계수( $S$ ) : 휨 모멘트에 따라 비례하여 발생하는 저항값으로 계선주의 형상에 기초한 원의 단면계수이며, 계선주의 내부가 비어 있는 형상을 감안하여 외경에서 내경의 차를 도심으로 산정하였다.

$$S = \pi \times D^3 / 32 \quad (3)$$

단  $d_1$  외경,  $d_2$  내경,  $D = d_1 - d_2$  도심

계선주는 원형의 단면을 가진 강재로 원형 단면의 최대휨응력은 계선주에 작용하는 최대 휨 모멘트에 원형의 단면계수를 나누어 산출하게 되고, 원형의 단면계수는 원형 단면의 외경과 내경의 차이이며 두께의 세제곱에 비례한다.

4) 최소 소요강재두께( $t_m$ ) : 식 (1)을 바탕으로 계선주에 작용하는 휨 응력은 휨 모멘트가 동일하다고 가정할 때 단면계수에 반비례하게 되고, 단면계수는 도심에 따라 변화하게 된다. 이때 계선주의 내경은 변화하지 않고 외경만 변화하며, 외경이 변화 시 두께가 감소하게 된다. 때문에 휨 응력이 최소 항복강도에 도달하는 두께를 최소 소요강재두께로 산출하여 계선주의 성능 한계를 산출하였다. 휨에 따른 최대 항복강도에 도달하게 되는 외경 직경을 다음의 식 (4)를 이용하여 산출하고, 내경과의 차의 절반인 평균으로 최소 소요강재두께를 식 (5)와 같이 평가한다.

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{M_{max}}{\Phi_f \cdot F_y} \times \frac{32}{\pi} + d_2^3} \quad (4)$$

$$t_m = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (5)$$

#### 4.1.2.2 전단응력 평가

계선주에 작용하는 전단응력 (Shearing Stress)은 식 (6) ~ (8)으로 표현되며,

식 (9)를 통하여 계선주 규격별 전단응력의 한계 항복강도에 도달하는 두께를 계산하여 계선주별 최소 필요 두께를 산정한다.

1) 전단응력 ( $v_{max}$ ) : 작용 수평력을 통한 전단력에 단면에 발생하는 힘으로 응력을 검토하여 강제 재질 상의 전단계수를 보정하고, 전단응력에 의한 최소 항복강도를 초과하여서는 안 된다.

$$v_{max} = d_s \times \frac{V_H}{A_s} < 245Mpa \quad (6)$$

단, 여기서  $d_s$  전단계수(강제) : 2 ,  $V_H$  : 작용 수평력)

$\Phi_v \cdot F_y$  : 전단응력에 대한 최소 항복 강도 (245Mpa)

2) 강제의 단면적 ( $A_s$ ) : 계선주는 원통의 형상으로 원의 단면적을 바탕으로 외경과 내경의 차를 통한 원통의 단면적으로 산출한다.

$$A_s = \frac{\pi \times (d_1^2 - d_2^2)}{4} \quad (7)$$

단,  $d_1$  외경,  $d_2$  내경

3) 최소 소요강재두께 산정( $t_m$ ) : 식 (6)을 바탕으로 계선주에 작용하는 전단 응력은 강제의 단면적에 반비례하고, 단면적은 계선주 외경과 내경의 차인 원통의 직경에 비례한다. 이때 계선주의 내경은 변화하지 않고 외경만 변화하며, 외경이 변화 시 두께가 감소하게 된다. 때문에 전단응력이 최소 항복강도에 도달하는 두께를 최소 소요강재두께로 산출하여 계선주의 성능 한계를 산출하였다. 식 (8)를 이용한 전단에 따른 최대 항복강도에 도달하게 되는 외경 직경을 기초로 내경과의 차의 절반인 평균으로 최소 소요강재두께를 식 (9)와 같이 평가한다.

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{d_s \cdot P}{\Phi_f \cdot F_y} \times \frac{4}{\pi} + d_2^2} \quad (8)$$

$$t_m = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (9)$$

## 4.2 작용 하중 분석

### 4.2.1 곡주(Bollard) 하중

국내에서 제작 및 설치되고 있는 일반적인 계선주 곡주의 단면도와 각부의 치수는 다음과 같다.

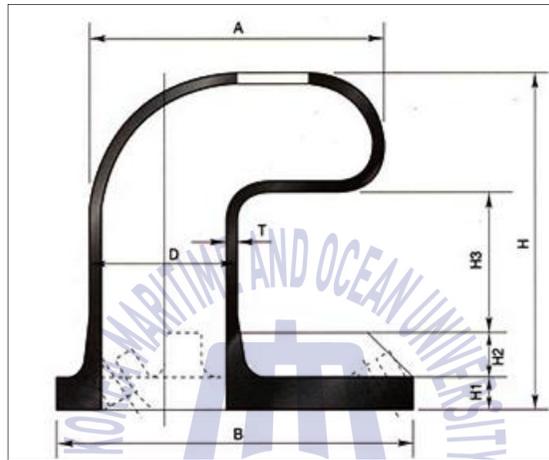


Fig. 30 Bollard section

Table 30 Specifications of bollard

[UNIT/mm]

CAPACITY [t]	BODY						
	D	A	H	H1	H2	H3	T
5	150	300	380	30	60	170	20
10	200	400	480	40	70	210	20
15	250	500	580	50	80	250	20
25	300	600	690	65	95	290	21
35	300	600	690	65	95	290	25
50	350	700	780	70	100	330	29
70	400	800	900	90	120	370	33
100	450	900	990	95	125	410	39
150	550	1,100	1,260	120	145	490	49

단면도의 내부 흰 공간은 비어있는 공간으로 곡주는 원통형의 구조를 가지고 있으며, 내부 공간에는 일반적으로 계선주 설치 시 콘크리트를 채워서 H2 까지 매립하게 설치하는 형식이 일반적이나, 일부 부두에서는 환경에 따라 매립하지 않고 하부가 외부에 노출되어 설치하는 경우 지지대와 볼트 너트를 통하여 결합하여 설치하고 있다.

Table 31은 국내에 설치된 계선주에 작용하는 견인력을 곡주의 규격별 수평, 수직력과 각 힘의 하중 작용점으로 분석한 것이다.

**Table 31** Working load of bollard

CAPACITY [t]	5	10	15	25	35	50	70	100	150
계선주의 내경( $d_2$ )(mm)	110	160	210	258	250	292	334	372	450
계선주의 외경( $d_1$ )(mm)	150	200	250	300	300	350	400	450	550
수평력 작용점( $h$ )(mm)	140	170	200	230	230	260	260	320	390
작용 수평력( $V_H$ )(kN)	50	100	150	250	350	500	700	1000	1500
수직력 작용점( $b$ )(mm)	100	125	150	175	175	200	255	250	300
작용 수직력( $V_V$ )(kN)	50	100	150	250	350	500	700	1000	1500

#### 4.2.2 직주(Mooring post) 제원

국내에서 제작 및 설치되고 있는 일반적인 계선주 직주의 단면도와 각부의 치수는 다음과 같다.

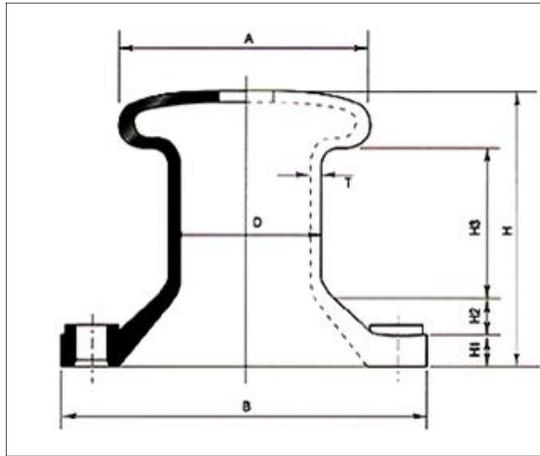


Fig. 31 Mooring post section

Table 32 Specifications of mooring post

[UNIT/mm]

CAPACITY [t]	BODY							
	D	A	B	H	H1	H2	H3	T
15	250	400	600	438	45	80	225	20
25	300	480	720	525	60	90	270	20
35	300	480	720	525	60	90	270	20
50	350	560	840	613	70	105	315	27
70	400	640	960	700	80	120	360	30
100	450	720	1,180	833	80	190	405	35
150	550	850	1,440	998	100	230	475	40
200	736	1,040	1,700	1,203	110	280	585	43

단면도의 내부 흰 공간은 비어있는 공간으로 원통형의 구조를 가지고 있으며, 내부 공간에는 일반적으로 설치 시 곡주와 동일하게 콘크리트를 채워서 H2 까지 매립하게 설치하는 형식이 일반적이나, 일부 부두에서는 환경에 따라 매립하지 않고 하부가 외부에 노출되어 설치하는 경우 지지대와 볼트 너트를 통하여 결합하여 설치하고 있다.

Table 33에서는 국내에 설치된 계선주에 작용하는 견인력을 직주의 규격별 수평, 수직력과 각 힘의 하중 작용점으로 분석한 것이며, 직주의 경우 작용 수직력은 수평력의 절반으로 작용된다. 일례로 같은 규격의 곡주와 비교하여 50톤의 경우 곡주는 수평력과 수직력 모두 50톤이 적용되나, 직주는 수평력은 50톤, 수직력은 25톤이 적용된다.

**Table 33** Working load of mooring post

CAPACITY [t]	15	25	35	50	70	100	150	200
계선주의 내경( $d_2$ )(mm)	210	260	260	296	340	380	475	650
계선주의 외경( $d_1$ )(mm)	250	300	300	350	400	450	550	736
수평력 작용점( $h$ )(mm)	225	260	260	295	330	360	410	500
작용 수평력( $V_H$ )(kN)	150	250	350	500	700	1000	1500	2000
수직력 작용점( $b$ )(mm)	150	175	175	200	225	250	300	393
작용 수직력( $V_V$ )(kN)	75	125	175	250	350	500	750	1000

### 4.3 작용 하중에 따른 응력 분석

4.2절에서 분석한 곡주와 직주의 상세 채원 및 규격별 견인력에 따른 하중 작용점 및 작용하중을 바탕으로, 계선주 규격별 휨 응력과 전단응력을 평가하여 계선주 재질(강재)에 따른 최소 항복강도와 비교 분석한다.

휨 응력 산출을 위해 곡주와 직주에 작용하는 최대 힘 모멘트를 수식 (2)에 따라 평가하면 Table 34와 Fig. 32와 같다.

직주의 경우 수직력이 수평력의 절반이 적용됨으로 같은 규격의 곡주보다 휨 응력에 대한 최대 모멘트가 낮게 산출되고, 비교 가능한 규격인 15톤에서 150톤까지의 비교 결과, 15톤에서 100톤에서 직주는 곡주의 최대 모멘트의 약 85% 수준으로 분석되었고, 150톤에서 약 81% 수준으로 평가되었다.

**Table 34** Maximum moment of bollards

Bollard		Mooring Post	
CAPACITY [t]	$M_{max}$ [kN]	CAPACITY [t]	$M_{max}$ [kN]
5	12,000	-	-
10	29,500	-	-
15	52,500	15	45,000
25	101,250	25	86,875
35	141,750	35	121,625
50	230,000	50	197,500
70	360,500	70	309,750
100	570,000	100	485,000
150	1,035,000	150	840,000
-	-	200	1,393,000

Fig. 33과 같이 계선주의 최대 힘 모멘트는 곡주와 직주 모두 규격의 커질수록 최대 모멘트가 증가하고, 거듭제곱 꼴의 선형과 가장 유사한 형태를 보이고 있다.

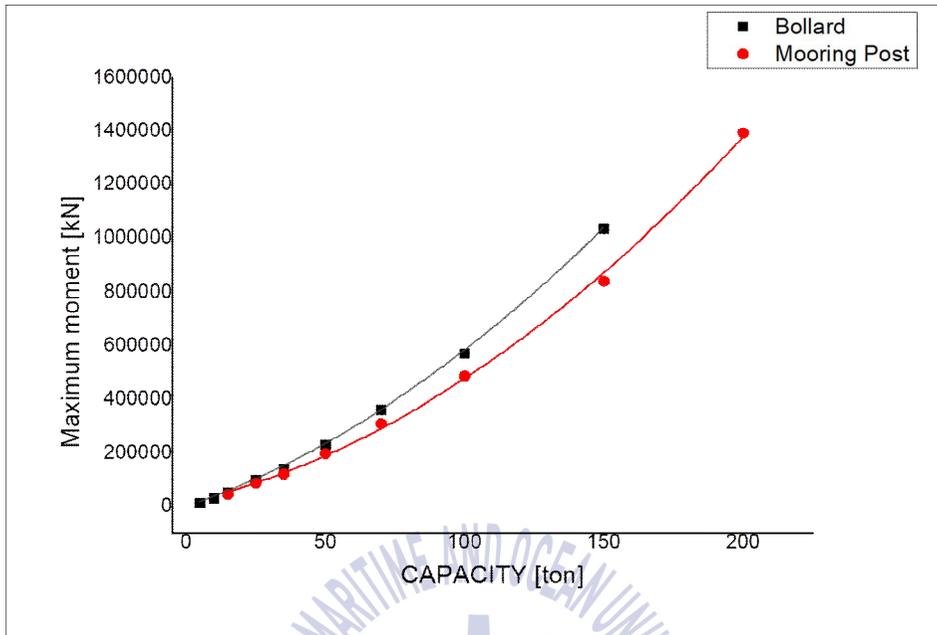


Fig. 32 Maximum moment of bollards

최대 힘 모멘트를 바탕으로 수식 (1)에 따라 Table 35과 Fig. 33과 같이 계선주의 곡주와 직주의 규격별 휨 응력을 산출한 하였고, 휨 응력에 대한 강재의 최소 항복강도인 245Mpa 이하로 평가되었다.

직주가 곡주에 비하여 같은 규격에서 비교 시 곡주 대비 직주의 휨 응력은 15와 25톤에서는 86%와 89%로, 50톤에서 150톤에서는 91% ~ 99%로, 상대적으로 휨 응력이 낮게 산출 되었으나, 35톤에서는 직주가 곡주에 비하여 휨 응력이 높게 산출되었다.

일반적으로 휨 응력은 작용 모멘트에 의해 증가하고 두께에 따라 감소하게 되나, 35톤에서 직주의 휨 응력에 대한 최대 힘 모멘트는 곡주 대비 약 85% 수준이지만 두께는 20mm로 곡주 대비 80%에 불과하여 휨 응력에 곡주에 비하여 높게 산출되었다.

Table 35 Bending Stress of mooring bollards

CAPACITY [t]	Bollard		Mooring Post		휨 응력 비교 (직주/곡주)
	설계두께 [mm]	휨 응력 [Mpa]	설계두께 [mm]	휨 응력 [Mpa]	
5	20	59.80		-	
10	20	76.97		-	
15	20	84.03	20	72.02	86%
25	21	104.95	20	93.90	89%
35	25	126.93	20	131.45	<b>103%</b>
50	29	130.31	27	118.75	91%
70	33	129.32	30	127.75	99%
100	39	146.44	35	136.26	93%
150	49	142.40	40	136.78	96%
200		-	43	114.37	

Fig. 33와 같이 곡주와 직주 모두 휨 응력이 35톤 까지 일차 선형 함수와 같이 증가 한다. 휨 응력은 곡주는 100톤에서 146.55 Mpa로 최대이며, 150톤에서 142.40 Mpa로 감소한다. 직주는 150톤에서 136.78 Mpa로 최대이며, 200톤에서 114.37 Mpa로 감소한다.

휨 응력에 대한 최소 항복 강도 대비 곡주는 5톤에서 35톤의 규격까지 24%에서 52%로 증가하며, 35톤 이후 52% ~ 60%(150톤에서 60%)로 평가되었다. 직주 의 경우 15톤에서 35톤까지 29%에서 54%로 증가하며, 35톤 이후 48% ~ 56%(150톤에서 56%)로 평가된다.

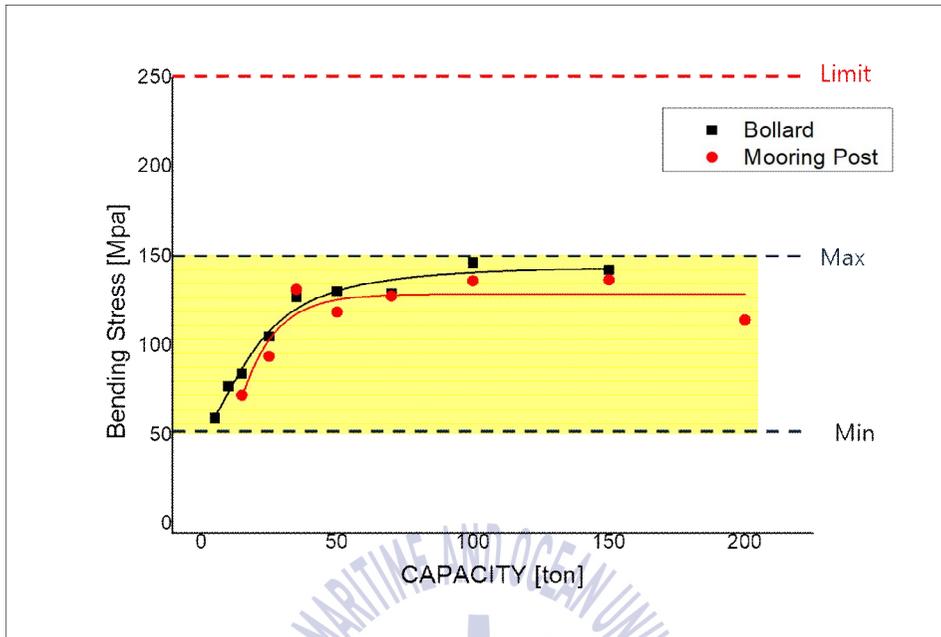


Fig. 33 Bending Stress of mooring bollards

4.2절에서 분석한 곡주와 직주의 상세 제원 및 규격별 견인력에 따른 하중 작용점 및 작용하중을 바탕으로 계선주 규격별 작용 전단응력을 산출하면 Table 36, Fig. 34와 같이 국내 모든 규격의 계선주에서 전단응력에 대한 강재의 최소 항복강도인 245Mpa 이하로 평가되었다.

전단응력의 경우 수평력에 의하여 산출되며 직주와 곡주는 규격별로 동일한 수평력이 작용되나 제원의 두께에서 곡주가 직주보다 두꺼워 작용 전단응력이 낮게 산출되었다.

일반적으로 규격이 증가함에 따라 곡주 대비 직주의 전단응력이 증가하며, 35톤 규격의 계선주에서 곡주 대비 직주의 전단응력은 127%로 최대로 평가되었다. 이는 곡주 대비 직주의 두께 비율이 35톤에서 최소인 80%로 확인되어 두께에 반비례하는 전단응력의 특성에 따른 것으로 해석된다.

Table 36 Shearing Stress of mooring bollards

CAPACITY [t]	Bollard		Mooring Post		전단응력 비교 (직주/곡주)
	설계두께 [mm]	전단응력 [Mpa]	설계두께 [mm]	전단응력 [Mpa]	
5	20	12.24		-	
10	20	17.68		-	
15	20	20.76	20	20.76	100%
25	21	27.16	20	28.42	105%
35	25	31.41	20	39.79	<b>127%</b>
50	29	34.19	27	36.5	107%
70	33	36.80	30	40.15	109%
100	39	37.72	35	43.83	110%
150	49	38.90	40	46.81	120%
200		-	43	42.73	

Fig. 34과 같이 곡주와 직주 모두 휨 응력과 유사하게 전단응력이 35톤까지 일차 선형 함수와 같이 증가 한다. 전단응력은 곡주는 100톤에서 37.72 Mpa로 최대이며, 150톤에서 38.90 Mpa로 감소한다. 직주는 150톤에서 46.81 Mpa로 최대이며, 200톤에서 42.73 Mpa로 감소한다.

전단응력에 대한 최소 항복 강도 대비 곡주는 5톤에서 35톤의 규격까지 24%에서 52%로 증가하며, 35톤 이후 52% ~ 60%(150톤에서 60%)로 평가되었다. 직주의 경우 15톤에서 35톤까지 29%에서 54%로 증가하며, 35톤 이후 48% ~ 56%(150톤에서 56%)로 평가된다.

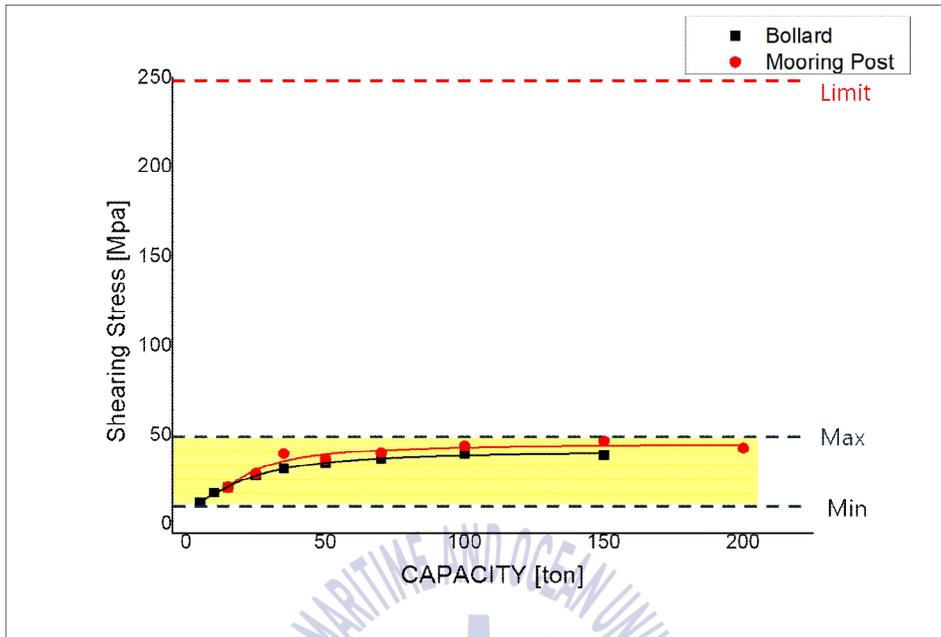


Fig. 34 Shearing Stress of mooring bollards

계선주에 작용하는 응력은 직주와 곡주 모두 휨 응력 (Bending Stress)이 전단 응력(Shearing Stress) 보다 높게 평가되었다. 이러한 결과는 휨 응력의 경우 작용력에서 수평력과 수직력이 모두 고려되나, 전단응력은 수평력만 고려됨에 따라 작용하는 힘이 감소하고, 그에 따라 작용 응력이 낮게 산출되기 때문이다.

Table 37, Fig. 35과 같이 계선주 작용 응력인 휨 응력과 전단응력 모두 35톤의 곡주까지 일정하게 증가 하고, 35톤 이후의 곡주에서는 일정 범위 내의 응력 값으로 평가되었다. 이는 25톤의 곡주까지 두께가 일정하며 35톤 이후 두께가 일정하게 증가함에 따라 35톤 이후의 곡주에서 응력이 일정 범위 내에서 작용하기 때문이다.

휨 응력의 경우 곡주는 5톤에서 35톤의 규격까지 59.8Mpa에서 126.93Mpa로 증가하며, 35톤 이후 130 ~ 150Mpa의 범위 내에서 최대 100톤에서 146.44Mpa로 평가되었다. 전단응력은 5톤에서 35톤의 규격까지 12.24에서 31.4Mpa로 증가하고, 35톤 이후 30 ~ 40Mpa의 범위 내에서 최대 100톤에서 39.72Mpa로 평가되었다.

Table 37 Stress of bollard

CAPACITY [ton]	설계두께[mm]	전단응력 [Mpa]	휨 응력[Mpa]
5	20	12.24	59.80
10	20	17.68	76.97
15	20	20.76	84.03
25	21	27.16	104.95
35	25	31.41	126.93
50	29	34.19	130.31
70	33	36.80	129.32
100	39	39.72	<b>146.44</b>
150	49	38.90	142.40

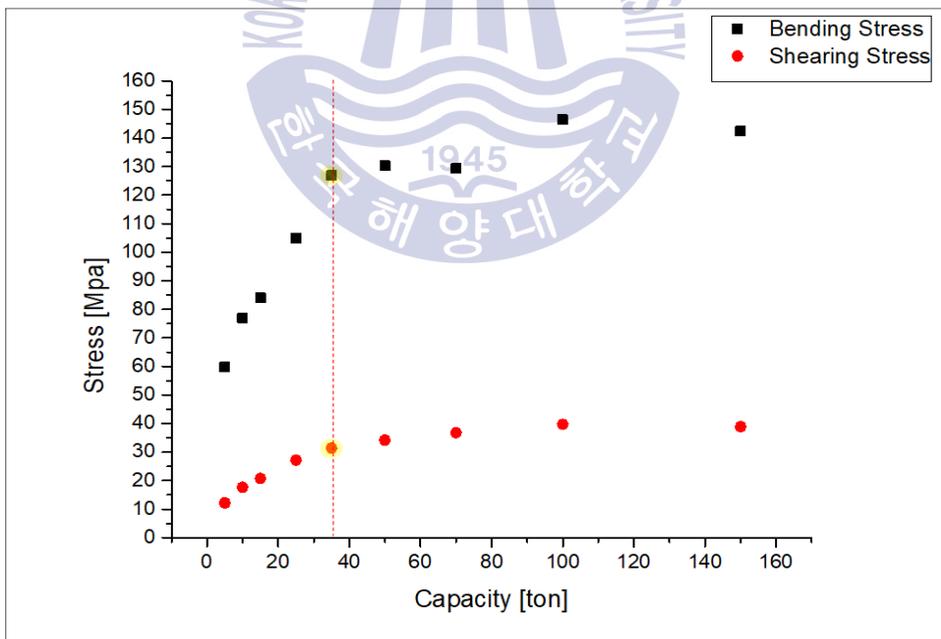


Fig. 35 Stress of bollard

Table 38, Fig. 36과 같이 계선주 작용 응력인 휨 응력과 전단응력 모두 곡주와 동일하게 35톤의 직주까지 일정하게 증가하고, 35톤 이후의 직주에서는 일정 범위 내의 응력 값이 나타났다. 이는 35톤의 직주까지 두께가 일정하며 35톤 이후 두께가 일정하게 증가함에 따라 35톤 이후의 응력이 일정 범위 내에서 작용하기 때문이다.

휨 응력의 경우 직주는 15톤에서 35톤의 규격까지 72.0Mpa에서 131.45Mpa로 증가하며, 35톤 이후 110Mpa ~ 140Mpa의 범위내에서 최대 150톤에서 136.78Mpa로 평가되었다. 전단응력은 15톤에서 35톤의 규격까지 20.8Mpa에서 39.8Mpa로 증가하며 35톤 이후 30Mpa ~ 50Mpa의 범위내에서 최대 150톤에서 46.81Mpa로 평가 된다.

일반적으로 같은 규격의 직주와 곡주에서는 휨 응력은 곡주가 전단응력은 직주가 높게 나타났다.

Table 38 Stress of mooring post

CAPACITY [t]	설계두께[mm]	전단응력 [Mpa]	휨 응력[Mpa]
15	20	20.76	72.02
25	20	28.42	93.9
35	20	39.79	131.45
50	27	36.5	118.75
70	30	40.15	127.75
100	35	43.83	136.26
150	40	46.81	<b>136.78</b>
200	43	42.73	114.37

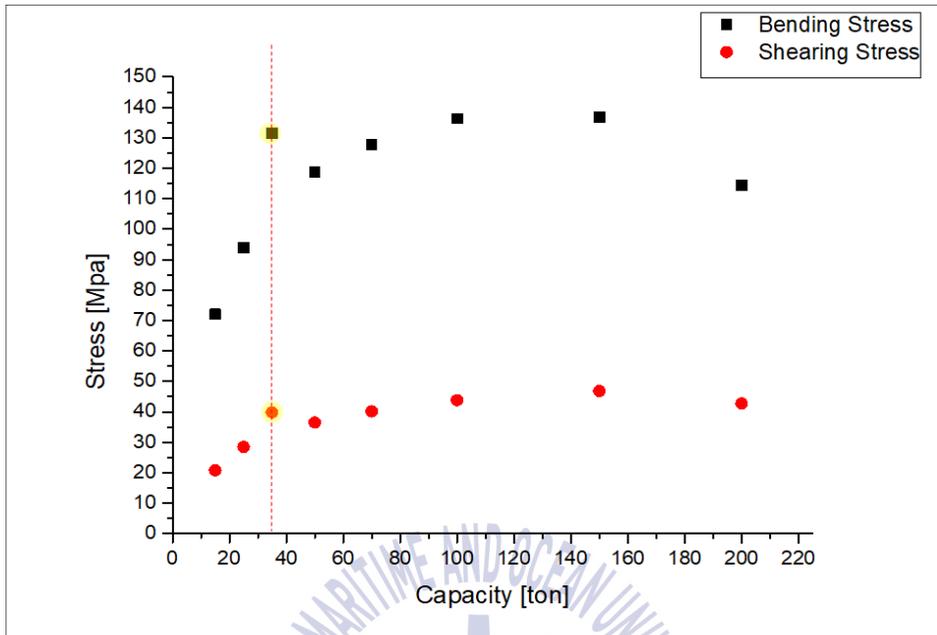


Fig. 36 Stress of mooring post

#### 4.4 강도 유지를 위한 최소 강재두께 분석

휨 응력과 전단응력의 평가에서 곡주와 직주 모두 35톤의 규격을 기점으로 증가하다가 일정 범위의 응력을 나타내었다. 이러한 작용 응력은 단면적 당 작용하는 힘이기 때문에 계선주의 규격이 커짐에 따라 견인력으로 인한 작용 수평력과 수직력이 증가함에도 35톤 규격에서부터 두께가 두꺼워 짐에 따라 단면적이 증가하게 되어 계선주에 작용하는 응력은 일정 범위 내에서 나타나게 된다. 즉 계선주에 작용하는 응력은 단면적에 따라 변화하게 되며, 단면적은 두께에 따라 변화한다. 때문에 계선주의 두께가 감소하게 되면 작용 응력이 증가하게 된다.

계선주의 두께가 감소되어 휨 응력과 전단응력이 4.1의 계선주 강재 특성에서 산정한 휨과 전단에 대한 최소 항복강도 245Mpa에 도달하게 되면 계선주 강도 한계 즉 성능 한계에 도달하게 된다. 이러한 항복강도에 도달하는 계선주의 성능 한계를 최소 소요 강재두께를 통하여 평가하였다.

강도 유지를 위한 두께 평가를 위하여 각 두께를 다음과 같이 정의 하였다.

1) 설계 두께 (Desinged thickness,  $t_d$ ) : 계선주 설치 전 규격 별 제원에 따라 설계된 두께

2) 최소 소요 강제두께(Minimum thickness,  $t_m$ ) : 작용 응력 별 최소 항복강도에 도달하는 두께로 성능 한계에 도달하는 두께

3) 현재 두께(Current thickness,  $t_c$ ) : 시간의 경과에 따라 손실이 진행된 현재 상태의 두께로 설계 두께에서 시간의 경과에 따른 두께손실의 차

4) 허용가능 손실두께(Allowable thickness,  $t_a$ ) : 설계 두께에서 최소 소요 강제두께까지 작용 응력에 따른 계선주의 강도가 유지되는 손실 가능한 두께

#### 4.4.1 곡주(Bollard)의 최소 강제두께 산정

곡주의 제원별로 휨 응력과 전단응력이 한계 항복강도 245Mpa에 도달하게 되는 최소 소요 강제두께( $t_m$ )를 식 (4)과 식 (8)을 통하여 산정하였고, 계선주 제원 별 허용 가능한 손실 강제두께( $t_a$ )를 분석하였다.

곡주의 응력별 최소 강제두께와 허용 가능한 손실 강제두께를 분석하면 Table 39와 같고 일반적으로 곡주의 제원의 증가에 따라 필요한 최소 강제두께는 증가한다. 그리고 휨 응력이 전단응력에 비하여 크게 작용됨에 따라 휨 응력에 따른 최소 소요 강제두께가 전단응력에 따른 두께보다 높게 분석 되었다. 설계 두께와 휨 응력에 따른 최소 소요 강제두께의 비교를 통하여 허용 가능한 손실 강제두께를 평가하였다.

허용 가능한 손실 강제두께를 분석해 보면 5톤에서 35톤까지 13mm에서 10mm로 감소하고 35톤 이후 12mm에서 14mm 사이로 확인되었다. 이와 같은 결과는 35톤의 곡주에서 10mm로 허용 가능한 손실 강제 두께가 가장 작게 평가되었고, 이는 5톤에서 35톤까지 설계두께는 5mm 증가하나 최소 소요 강제 두께는 7mm에서 15mm로 8mm 증가한 때문이다.

Table 39 Minimum thickness for yield strength (bollard)

[UNIT/mm]

CAPACITY [t]	설계두께( $t_d$ )	최소 소요 강재두께( $t_m$ )		허용 가능 손실 두께( $t_a$ )
		휨 응력	전단응력	
5	20	7	2	13
10	20	8	2	12
15	20	8	2	12
25	21	10	3	11
35	25	15	4	<b>10</b>
50	29	17	4	12
70	33	19	6	14
100	39	26	7	13
150	49	31	9	14

곡주의 설계두께와 휨 응력 및 전단응력에 따른 최소 소요 강재두께를 비교하면 Fig. 37과 같다. 휨 응력에 따른 최소 소요 강재두께는 설계두께 대비 평균 52.1%, 전단응력에 따른 최소 소요 강재두께는 설계두께 대비 평균 14.3%로 분석되었다. 전단응력에 따른 최소 소요 강재두께는 휨 응력 대비 평균 27.4%로 분석되었다.

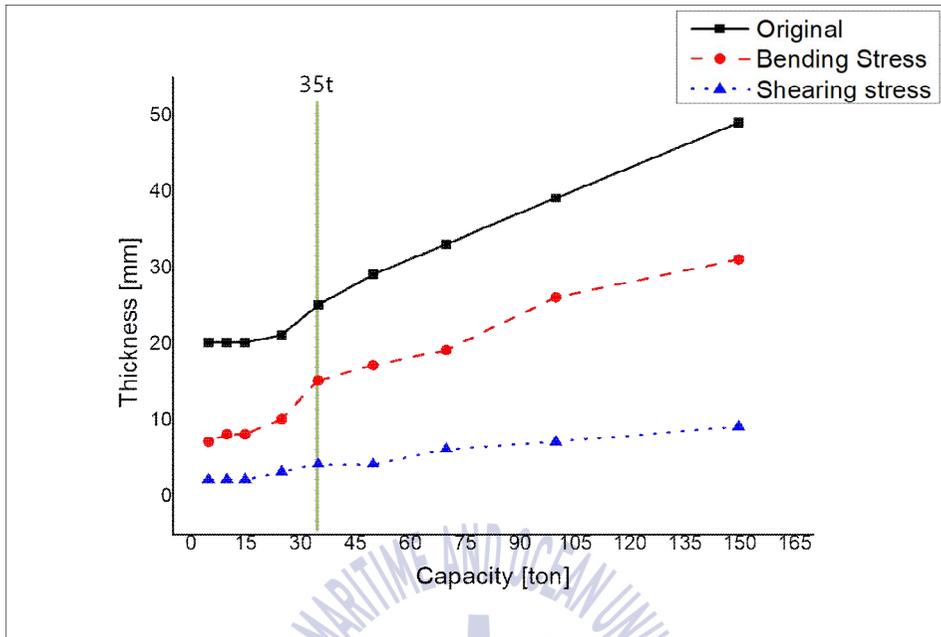


Fig. 37 Minimum thickness for yield strength (Bollard)

#### 4.4.2 직주(Mooring post)의 최소 강제두께 산정

직주의 제원별로 휨 응력과 전단응력이 한계 항복강도 245Mpa에 도달하게 되는 최소 소요 강제두께를 식 (4)과 식 (8)을 통하여 산정하였고, 최소 소요 강제두께와 제원상의 설계두께(설계 두께)와 비교하여 계선주 제원별 허용 가능한 손실 강제두께를 분석하였다.

직주의 응력별 최소 강제두께와 허용 가능한 손실 강제두께를 분석하면 Table 40과 같고 일반적으로 직주의 제원의 증가에 따라 필요한 최소 강제두께는 증가한다. 그리고 휨 응력이 전단응력에 비하여 크게 작용됨에 따라 휨 응력에 따른 최소 소요 강제두께가 전단응력에 따른 두께보다 높게 분석 되었다. 설계 두께와 휨 응력에 따른 최소 소요 강제두께의 비교를 통하여 허용 가능한 손실 강제두께를 평가하였다. 허용 가능한 손실 강제두께를 분석해 보면 15톤에서 35톤에서 13mm에서 8mm로 감소하고 50톤에서 200톤까지 12mm에서 21mm로 증가하였다. 이와 같은 결과는 35톤의 직주에서 8mm로 허용 가능한

손실 강제 두께가 가장 작게 평가되었고, 15톤에서 35톤까지 설계두께가 20mm로 동일하나 최소 소요 강제 두께는 7mm에서 12mm로 4mm 증가한 때문이다.

Table 40 Minimum thickness for yield strength (mooring post)

[UNIT/mm]

CAPACITY [t]	설계두께( $t_d$ )	최소 소요 강제두께( $t_m$ )		허용 가능 손실 두께( $t_a$ )
		휨 응력	전단응력	
15	20	7	2	13
25	20	9	3	11
35	20	12	4	8
50	27	15	5	12
70	30	17	6	13
100	35	21	7	14
150	40	24	9	16
200	43	22	8	21

직주의 설계두께와 휨 응력 및 전단응력에 따른 최소 소요 강제두께를 비교하면 Fig. 38와 같다. 휨 응력에 따른 최소 소요 강제두께는 설계두께 대비 평균 52.9%, 전단응력에 따른 최소 소요 강제두께는 설계두께 대비 평균 18.1%로 분석되었다. 전단응력에 따른 최소 소요 강제두께는 휨 응력 대비 평균 33.9%로 분석되었다.

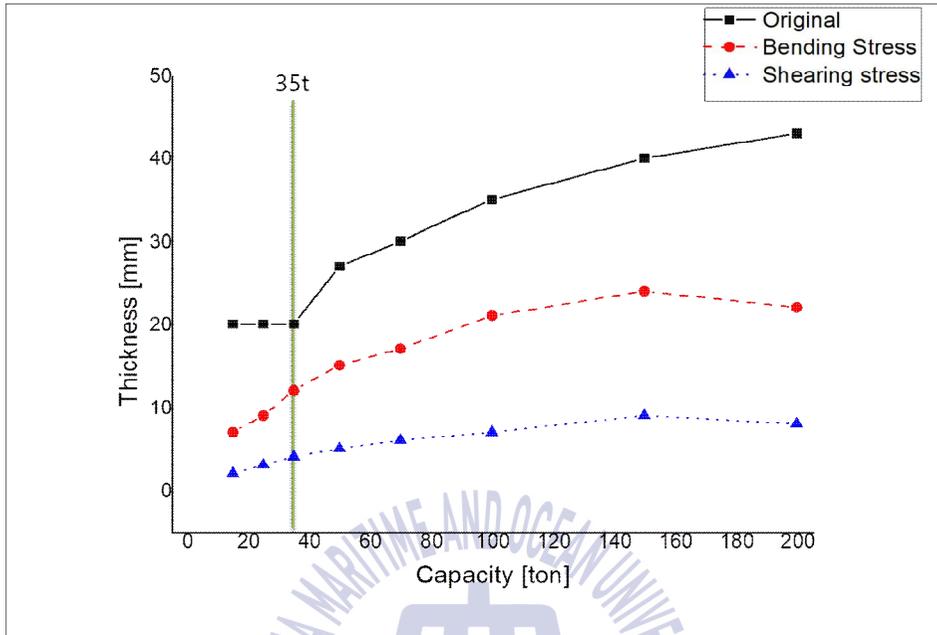


Fig. 38 Minimum thickness for yield strength (mooring post)

#### 4.5 최대 허용 견인력

계선주 기본 설계를 바탕으로 휨 응력과 전단응력 산출 방법을 이용하여 최대 허용 가능한 견인력을 추정한다. 최대 허용 견인력 추정을 위한 산출식은 식 (1)와 식 (5)을 활용하면, 계선주 설계 제원 상 작용응력에 대한 최소 항복강도 245Mpa에 도달하는 견인력을 산출할 수 있다.

다음 식 (10)은 휨 응력에 따른 최소 항복강도에 도달하는 최대 허용 견인력이며, 식 (11)은 전단응력에 따른 최소 항복강도에 도달하는 최대 허용 견인력에 대한 것이다.

$$V_{Tf} = 245 \times \pi \times (d_1^3 - d_2^3) / 32(b+h) \quad (10)$$

단,  $b$  수직력 작용점 [mm],  $h$  수평력 작용점 [mm] (직주는 1/2 적용)

$d_1$  외경 [mm],  $d_2$  내경 [mm]

$$V_{Tv} = 245 \times \pi \times (d_1^2 - d_2^2) / (4 \times 2) \quad (12)$$

단,  $d_1$  외경 [mm],  $d_2$  내경 [mm]

식 (10)을 이용하여 휨 응력에 따른 최소 항복강도 245Mpa에 도달하게 되는 계선주의 견인력을 Table 41와 Fig. 39과 같이 분석하였으며. 계선주의 규격별 기준 견인력 대비 설계 제원 상 휨 응력에 따른 최대 허용 견인력 비율은 일반적으로 규격의 증가에 따라 감소하였다.

곡주는 규격 대비 설계 제원 상 휨 응력에 따른 최대 허용 견인력이 평균 236.3%로 분석되었으며, 직주는 평균 218.8%로 분석되었다. 직주에 곡주에 비하여 같은 규격에서 일반적으로 더 높은 허용 견인력이 산출되었으나 35톤 규격에서는 곡주가 직주보다 높게 분석되었다. 이는 계선주 직주에서 작용 수직력이 견인력의 절반이 되기 때문에 작용력이 곡주보다 낮아 허용 견인력이 높게 평가되고, 35톤에서는 곡주가 직주부보다 두께가 두껍게 제작되어 허용 견인력이 높게 분석되었다.

**Table 41** Maximum Tractive force on mooring bollards by bending Stress

CAPACITY[t]	곡주		직주	
	두께 [mm]	허용 견인력[t]	두께 [mm]	허용 견인력[t]
5	20	20		-
10	20	31		-
15	20	43	20	51
25	21	58	20	65
35	25	67	20	65
50	29	94	27	103
70	33	124	30	134
100	39	167	35	179
150	49	262	40	254
200		-	43	428

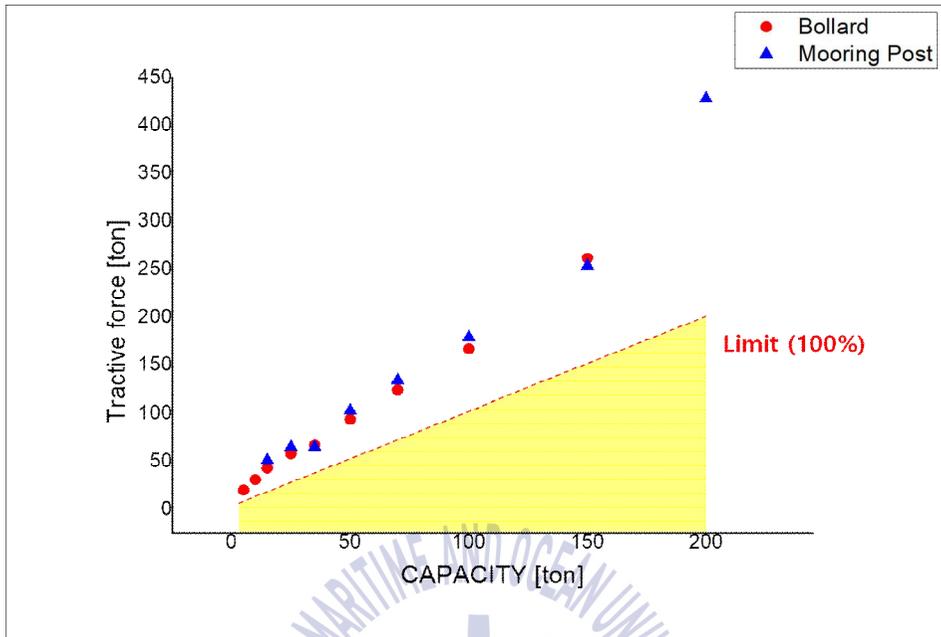


Fig. 39 Maximum Tractive force on mooring bollards by bending stress

식 (12)를 이용하여 전단응력에 따른 최소 항복강도 245Mpa에 도달하게 되는 견인력을 Table 43과 Fig.41과 같이 분석하였다. 계선주의 규격별 기준 견인력 대비 설계 제원 상 전단응력에 따른 최대 허용 견인력 비율은 일반적으로 규격의 증가에 따라 감소하였다. 곡주는 규격 대비 설계 제원 상 전단응력에 따른 최대 허용 견인력이 평균 983.7%로 분석되었으며 직주는 평균 694.7%로 분석되었다.

Table 42 Maximum tractive force on mooring bollards by shearing stress

CAPACITY[t]	곡주		직주	
	두께 [mm]	허용 견인력[t]	두께 [mm]	허용 견인력[t]
5	20	100		-
10	20	138		-
15	20	177	20	177
25	21	225	20	215
35	25	264	20	215
50	29	358	27	335
70	33	466	30	427
100	39	616	35	558
150	49	962	40	739
200		-	43	1146

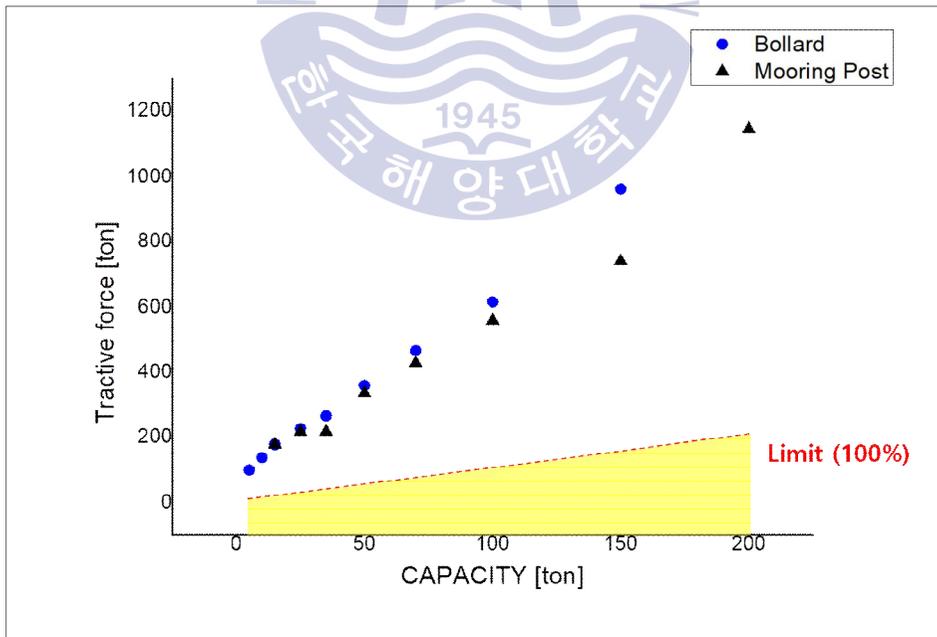


Fig. 40 Maximum Tractive force on mooring bollards by shearing stress

계선주에 작용 응력 분석결과 휨 응력이 전단응력에 비하여 강하게 작용함에 따라 휨 응력에 따른 허용 견인력이 전단응력에 비하여 낮게 산출되었다. 곡주의 전단응력대비 휨 응력에 따른 허용 견인력은 평균 25.0%로 분석되었으며, 직주의 경우 평균 25.3%로 분석되었다.

#### 4.6 부식에 따른 계선주 두께 손실 및 성능 분석

계선주의 성능을 견인력에 따른 작용 휨 응력과 전단응력으로 4-3절에서 평가한 결과 설계제원에서 작용응력에 따른 최소 항복강도 이하로 분석되었다. 그러나 설계제원에서 계선주의 노후화에 따라 계선주의 두께 손실이 발생하고, 두께 손실에 따른 단면적의 감소로 작용 응력이 증가하게 되어 최소 항복강도에 도달하게 된다. 이러한 계선주의 최소 항복강도에 도달하는 두께를 4-4절에서 분석하였고, 계선주의 두께 손실에 대하여 자연적 부식과 계류삭에 의한 마모를 통하여 분석하였다.

##### 4.6.1 계선주의 자연적 부식율 검토

부식에 따른 계선주 두께 손실을 평가하기 위하여 계선주의 재질인 강재(탄소강)의 자연적 부식율을 이용하여 설치 후 시간변화에 기인한 두께 변화를 분석하였다.

두께 변화를 분석하기 위하여 계선주가 설치되는 항만시설 특성인 해수의 영향에 따른 자연적 부식율을 기초로 해수에 영향을 Fig. 41와 같이 5개의 영역으로 분류 하였다.

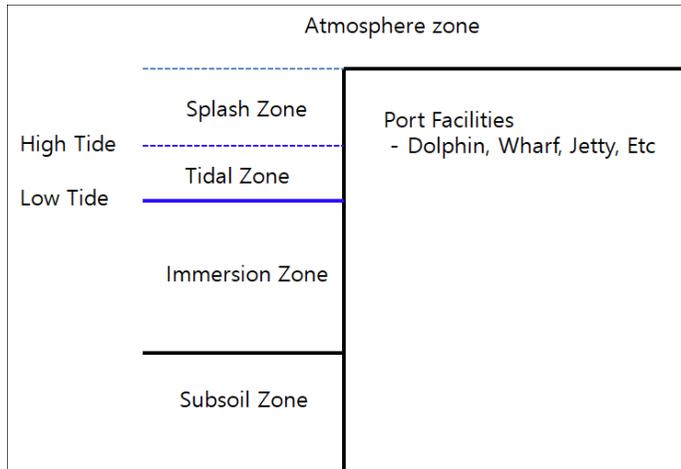


Fig. 41 Corrosion zone

Table 43에서 정의된 5개의 영역을 계선주가 설치되는 장소와 비교하면, 계선주는 부두 위에 설치되는 항만시설물로 파도 등 분무형태의 해수의 영향을 받는 Splash zone과 대기 중의 영역인 Atmosphere zone으로 분리된다. 그러므로 계선주의 자연적 부식율은 파도에 노출된 계선주 대상 Splash zone와 해수의 영향이 없는 계선주 대상 Atmosphere zone의 부식율을 바탕으로 분석한다.

Table 43 Classification of corrosion zone

Zone	정의
Atmosphere	대기 중 해수를 포함한 영역으로 직접적인 해수가 미치지 않는 영역
Splash	해면 위에서 대기의 영향 사이의 파도와 같이 해수가 지속적으로 분무 형태로 뿌려져 시설물의 부식에 영향을 미치는 영역
Tidal	저조면과 고조면 사이의 조류 및 조석의 영향으로 수면이 변화하여 시설물이 해수에 수몰되었다 간출되는 영역
Immersion	저조면 이하의 해저면 사이의 시설물이 해수에 잠겨있는 영역
Subsoil	해저면 이하의 영역

계선주 재질인 강재(탄소강)의 상황별 부식율 확인을 위하여 해수에서의 주요 상황별 탄소강의 부식속도는 Farro(2009) 등은 태평양에서 자연 상황별 측정을 통하여 제시 하였고 [29], P. Osório(2010) 등은 남아프리카 공화국에서 대기 중 측정 결과를 제시하였다 [30], 연구결과를 분석하여 Table 45와 같이 Splash zone과 Atmosphere zone 에서의 부식율을 도출하였다.

**Table 44** Corrosion rate of carbon Steel

구분	[mm/y]	
	태평양	남아프리카 공화국
Atmosphere	0.178	0.245
Splash	0.555	
Mean tidal	0.366	
Full immersion	0.231	

연구 결과를 평가한 결과, 계선주 자연 부식율은 Splash zone과 Atmosphere zone의 부식율로 다음과 같다. Atmosphere zone의 자연 부식율은 0.178 [mm/y]이며, Splash zone의 자연 부식율은 0.555mm/y이다.

Table 45은 곡주의 자연 부식에 의한 부식 기간을 예측한 것으로 부식기간은 4.4절에서 정의한 계선주의 성능이 유지되는 손실 가능한 강재두께인 허용가능 손실두께( $t_a$ )의 자연 부식율 기초로 부식기간을 분석하였고, 분석 결과 35톤의 곡주에서 Atmosphere zone에서 56.2년 Splash zone에서 18.0년으로 가장 짧은 부식 기간이 예측되었다.

Table 45 Estimated corrosion period of bollard

규격	계선 곡주[t]								
	5	10	15	25	35	50	70	100	150
설계두께 [mm]	20	20	20	21	25	29	33	39	49
최소 소요 강재두께 [mm]	7.0	8.0	8.0	10.0	15.0	17.0	19.0	26.0	31.0
허용가능 손실두께 [mm]	13.0	12.0	12.0	11.0	10.0	12.0	14.0	13.0	17.0
Atmosphere zone 부식 기간 [y]	73.0	67.4	67.4	61.8	56.2	67.4	78.7	73	95.5
Splash zone 부식 기간 [y]	23.4	21.6	21.6	19.8	18.0	21.6	25.2	23.4	30.6

Fig. 42의 부식기간 부식 결과 곡주 35톤에서 가장 짧은 부식 기간이 예측되었으며, 이러한 결과는 5톤에서 35톤의 곡주에서 견인력에 따른 작용력이 증가함에 따라 강도 확보를 위한 최소 소요 강재두께가 8mm 증가함에도 설계두께가 5mm 만 증가하여 35톤에서 손실가능 강재두께가 10mm로 최소가 된다. 그에 따라 부식기간이 최소로 평가되었다. 특히 Splash zone에서 35톤의 곡주는 18년으로 평가되었고, 평균 22.8년으로 분석되었다.

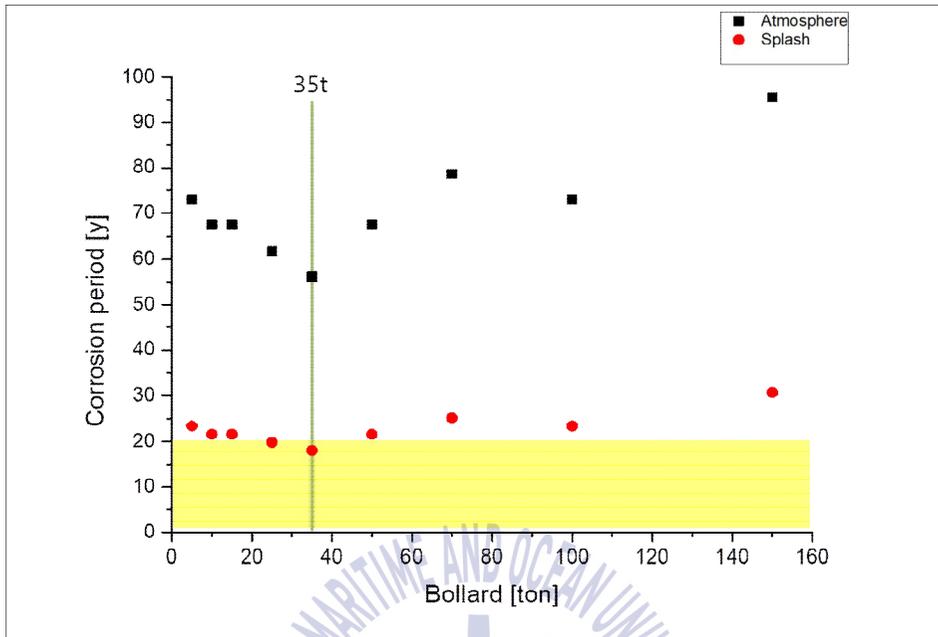


Fig. 42 Estimated corrosion period of bollard

Table 6에서 곡주와 동일하게 직주의 자연 부식에 의한 부식 기간을 예측하였다. 35톤의 직주에서 Atmosphere zone에서 44.9년 Splash zone에서 14.4년으로 가장 짧은 부식 기간이 예측되었다.

Table 46 Estimated corrosion period of mooring post

규격	계선 직주(Ton)							
	15	25	35	50	70	100	150	200
설계두께 [mm]	20	20	20	27	30	35	40	43
최소 소요 강재두께 [mm]	7	9	12	15	17	21	24	22
허용가능 손실두께 [mm]	13	11	8	12	13	14	16	19
Atmosphere zone 부식 기간 [y]	73.0	61.8	44.9	67.4	73	78.7	89.9	106.7
Splash zone 부식 기간 [y]	23.4	19.8	14.4	21.6	23.4	25.2	28.8	34.2

Fig. 43의 부식기간 부식 결과 직주 35톤에서 가장 짧은 부식 기간이 예측되었으며, 이러한 결과는 15톤에서 35톤의 직주에서 견인력에 따른 작용력이 증가함에 따라 강도 확보를 위한 최소 소요 강재두께가 5mm 증가함에도 설계두께가 동일하여 35톤에서 손실가능 강재두께가 8mm로 최소가 된다. 그에 따라 부식기간이 최소로 평가되었다. 특히 Splash zone에서 35톤의 직주 14.4년으로 평가되었고, 평균 23.8년으로 분석되었다.

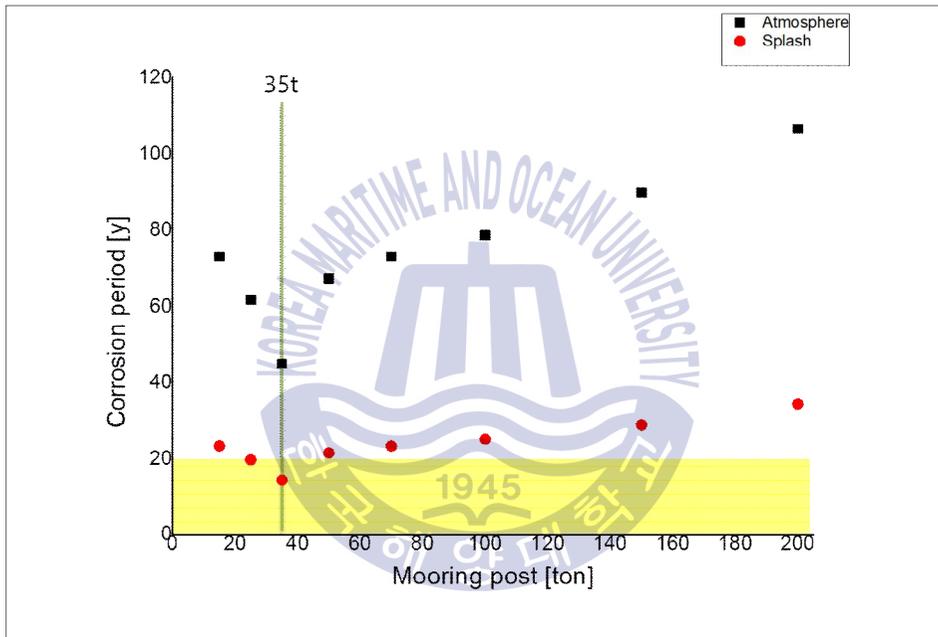


Fig. 43 Estimated corrosion period of mooring post

#### 4.6.2 계선주 연간 두께 손실 평가

부식에 따른 계선주의 두께 손실 평가에 있어 계선주 재질에 따른 자연 부식과 계류삭의 영향에 따른 마모를 적용하여 연간 계선주 부식을 통한 두께 손실을 예측하고, 계선주 설치 기간에 따른 두께 손실을 평가하였다.

1) 연간 계선주 부식 (Corrosion of bollard per year,  $C_B$  [mm]) : 계선주의 연간 두께 손실을 평가하기 위한 계선주 강재의 연간 부식으로 자연 부식에 계류

삭에 의한 마모를 적용하여 식 (12)와 같이 산출하고, 계선주의 부식은 허용가능 손실두께( $t_a$ )보다 작아야 하며 초과 시 작용 응력이 최소 항복강도에 도달하는 성능한계이다.

$$C_B = C_i \times \alpha < t_a \quad (12)$$

단  $C_i$  : 자연 부식,

$\alpha$  : 계류삭에 의한 마모,  $t_a$ : 허용가능 손실두께

2) 계선주의 자연 부식 (Natural corrosion of bollard,  $C_i$  [mm/y]) : 4.6.1절에서 분석한 계선주 재질에 따른 자연부식으로 계선주 설치 위치와 해수의 영향에 따라 Atmosphere zone의 부식율 ( $C_{Ai}$  : 연간 0.178 mm)과 Splash zone의 자연 부식율( $C_{Si}$  : 연간 0.555 mm)로 평가된다.

3) 계류삭에 의한 마모 ( $\alpha$ ) : 선박은 부두에 접안하기 위하여 계류삭을 계선주에 고박하게 되며 이때 계류삭에 의하여 계선주에 마모가 발생하게 된다. 이러한 계류삭에 의한 마모는 Fig 44와 같이첫째, 계류삭에 의해 계선주에 작용하는 견인력의 크기, 둘째 계선주에 고박되는 계류삭의 수, 셋째 계류삭이 고박되어 있는 기간 등 다양한 상황에 따라 계선주에 추가적인 마모가 발생한다. 이러한 계류삭에 의한 마모는 4.4절에서 정의한 두께 분류에 따른 설계두께( $t_d$ )에서 현재두께( $t_c$ )까지의 현재 계선주에 손실된 두께에 계선주가 설치된 환경의 계선주의 자연부식 ( $C_i$ )을 통하여 식 (13)와 같이 산출한다.

$$\alpha = \frac{t_d - t_c}{C_i} \quad (13)$$

단  $C_i$  : 자연 부식,

$t_d$  : 설계두께,  $t_c$ : 현재두께



Fig. 44 Using environment of mooring post and bollard

4) 계선주 부식 기간 예측 (Period of estimated corrosion,  $C_e$  [y]) : 계선주의 최소 소요 강재두께( $t_m$ )까지의 설계두께( $t_d$ ) 또는 현재두께( $t_c$ )에서의 계선주 부식을 통한 부식 기간 예측을 식 (14)와 같이 산출한다.

$$C_e = \frac{t_d - t_m}{C_B} \quad (14)$$

단  $C_B$  : 연간 계선주 부식

$t_d$  : 설계두께,  $t_m$  : 최소 소요 강재두께

식 (13)의 계류삭에 의한 마모를 평가하기 위하여 3.3 절의 한국해양대학교 실습선 부두의 계선주 계측 결과인 Table 29의 계선주별 최소 계측 두께를 바탕으로 산출한 계선주 현재 두께( $t_c$ )까지의 연간 최대 부식율과 비교하여 분석하였다.

Table 48은 계선주별 계측 결과 중 최소 두께를 바탕으로 최대 두께 손실과 최대 연간 평균 부식율을 산출한 결과이다. 산출 결과 83년도에 설치된 1번에서 9번 계선주에서 0.347mm ~ 0.485mm의 부식이 확인되었고, 7번 계선주에서 연간 최대 0.49mm의 부식으로 인한 두께 감소가 확인되었다. 90년도에 설치된

한바다호 부두의 계선주에서는 0.378 ~ 0.556mm의 연간 최대 부식이 확인되었으며, 12번 계선주에서 연간 최대 0.556mm의 부식이 산출되었다.

한바다호 부두가 한나라호 부두보다 연간 최대 두께 감소가 높게 산출되었으며, 원인으로 추정되는 이유는 첫째 대상 선박의 규모의 차이로, 한바다호(G/T 6,686)가 한나라호(G/T 3,738)에 비하여 대형선이며 따라서 선박에 의해 작용하는 견인력이 더 강하게 작용함에 따라 계류삭에 의한 마모가 크고, 둘째 부두 위치가 한바다호 부두가 한나라호의 부두보다 바깥에 위치함에 따라 해수의 영향이 더 큰 것으로 분석되었다.

**Table 47** Maximum corrosion per year of the bollard thickness at KMOU wharf

계선주	설계두께 [mm]	설치 년도	두께 계측 최소 결과 [mm]	최대 두께 손실 [mm]	최대 연간 평균 부식율 [mm/y]
B1	21	1983	5.7	15.3	0.450
B2	21	1983	7.8	13.2	0.388
B3	21	1983	6.3	14.7	0.432
B4	21	1983	5.8	15.2	0.447
B5	21	1983	5.8	15.2	0.447
B6	21	1983	5.1	15.9	0.468
B7	21	1983	4.5	16.5	<b>0.485</b>
B8	21	1983	6.5	14.5	0.426
B9	21	1983	9.2	11.8	0.347
B10	21	1990	6.9	14.1	<b>0.522</b>
B11	21	1990	6.1	14.9	<b>0.552</b>
B12	21	1990	6.0	15.0	<b>0.556</b>
B13	21	1990	10.8	10.2	0.378
B14	21	1990	7.0	14.0	<b>0.519</b>

한국해양대학교 실습선 부두의 계선주 최소 두께를 바탕으로 산출한 최대 연간 평균 부식을 분석결과는 Fig. 35과 같으며, 모든 계선주의 평균은 연간 0.456mm의 손실로 분석되었고, 한나라호만 단독으로 사용하는 계선주들의 평균은 연간 0.438mm, 한나라호와 한바다호가 공동으로 사용하는 계선주들의 평균은 연간 0.455mm, 한바다호만 단독으로 사용하는 계선주는 평균 연간 0.479mm의 손실로 분석되었다.

한나라호 부두의 경우 6번 계선주에서 연간 0.468mm, 한바다호와 공동으로 사용하는 7번 계선주에서 연간 0.458mm, 한바다호 부두에서 10번 연간 0.522mm, 11번 연간 0.552mm, 12번 연간 0.556mm, 14번 연간 0.519mm로 평균 이상의 부식이 평가되었다.

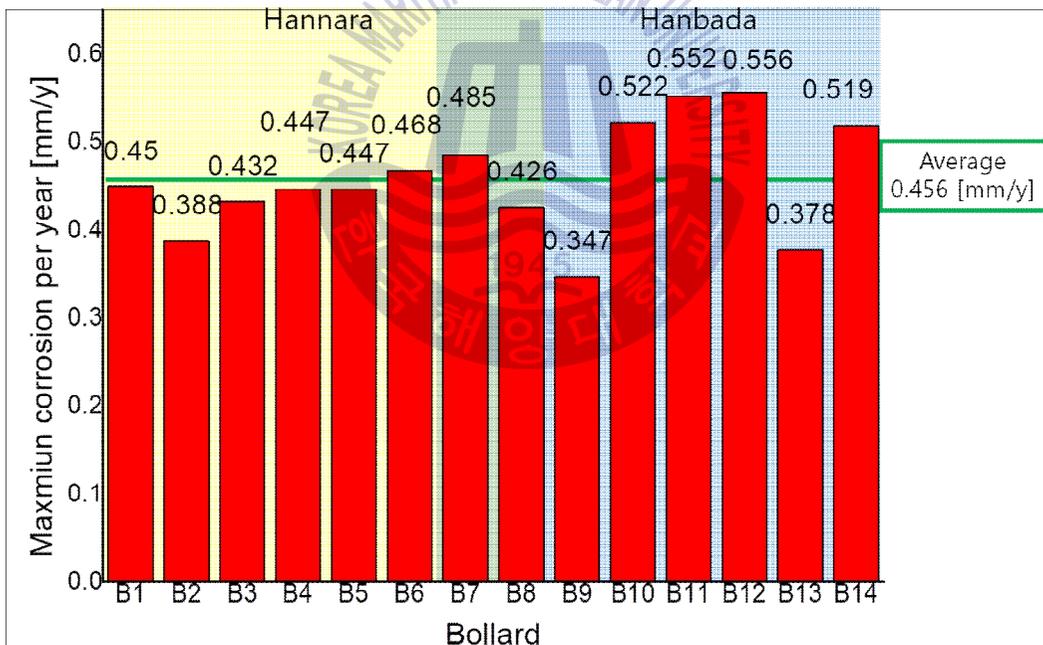


Fig. 45 Maximum corrosion per year of the bollard thickness at KMOU wharf

본 연구에서는 한국해양대학교 실습선 부두 두께 측정에 따른 연간 최대 두께 손실 0.556mm/y 와 Atmosphere zone의 자연 부식율( $C_{At}$ )인 0.178mm/y,

Splash zone의 자연 부식율 ( $C_{Si}$ ) : 0.555mm/y 을 비교한 결과 Atmosphere zone 에서 계류삭에 의한 마모율은 약 3.12로 Splash zone은 약 1로 분석되었다.

본 연구의 계선주의 부식 ( $C_B$ )은 연간 0.556mm/y로 정의된다. 따라서 계선주의 허용가능 손실두께의 최소 부식 기간은 연간 0.556mm/y 의 두께 손실과 Table 48의 계선주 제원별 허용가능 손실두께를 기초로 Table 49와 같이 계선주 실시 후 부식 기간이 평가된다.

**Table 48** Acceptable loss thickness of mooring bollards

규 격	허용가능 손실두께[mm]	
	곡주	직주
5	13	
10	12	
15	12	13
25	11	11
<b>35</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
50	12	12
70	14	13
100	13	14
150	17	16
200		19

**Table 49** Minimum Period of Estimated corrosion

CAPACITY [t]		5	10	15	25	35	50	70	100	150	200
부식 기간[y]	곡주	23.4	21.6	21.6	<b>19.8</b>	<b>18</b>	21.6	25.2	23.4	30.6	-
	직주	-	-	23.4	<b>19.8</b>	<b>14.4</b>	21.6	23.4	25.2	28.8	34.2

#### 4.7 계선주 부식에 따른 견인력 분석

계선주의 부식에 따른 두께 손실을 바탕으로 계선주 설치 후 매 5년 단위의 계선주 두께를 예측하여 계선주 규격 별 최대 허용 견인력을 식 (10)을 이용하여 분석하였다.

Table 50에서 연간 0.556mm/y 의 두께 손실을 기초로 5년 마다 곡주의 규격 별 최대 허용 견인력을 평가하였다. 20년 후 최소 소요 강재두께에 도달함에 따라 35톤의 곡주의 경우 34톤으로 항설기준의 견인력을 만족하지 못하며, 25년 후 5톤에서 70톤까지의 곡주가 기준에 미달한다.

Table 50 Maximum tractive force of bollard every five years

CAPACITY [t]	최대 허용 견인력[t]					
	5년 후	10년 후	15년 후	20년 후	25년 후	30년 후
5	16	13	10	7	4	2
10	26	21	16	12	8	4
15	36	30	23	17	11	6
25	49	41	33	25	17	10
35	58	50	42	34	27	19
50	83	73	63	53	44	35
70	112	100	89	77	66	56
100	153	139	126	113	100	88
150	244	227	211	194	178	163

Fig. 46은 매 5년 별 곡주의 규격별 최대 허용 견인력으로, 항설 기준 대비 곡주의 최대 허용 견인력이 5년 후 평균 203%이며 30년 후에는 62%로 평가되었고 매 5년 마다 평균 약 28% 감소한다.

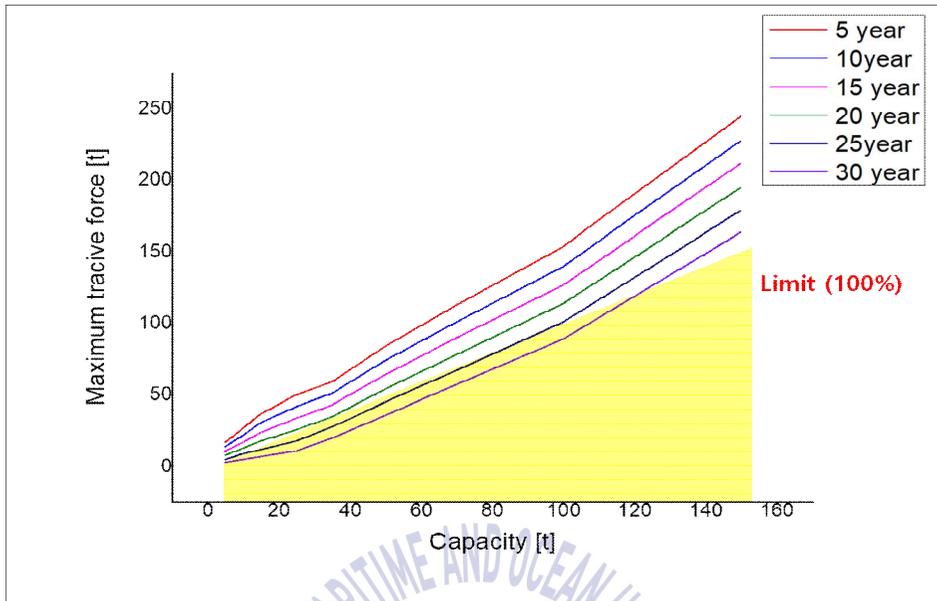


Fig. 46 Maximum tractive force of bollard every five years

Table 51에서 연간 0.556mm/y 의 두께 손실을 기초로 5년 마다 직주의 규격 별 최대 허용 견인력을 평가하였다. 15년 후 35톤 직주가 최대 견인력 35톤으로 항설 기준에 근접하고 25년 후 15톤에서 70톤까지 직주가 기준에 미달한다.

Table 51 Maximum Tractive force of Mooring Post Every five years

CAPACITY [t]	최대 허용 견인력[t]					
	5년 후	10년 후	15년 후	20년 후	25년 후	30년 후
15	42	35	27	20	13	7
25	55	45	35	26	18	9
35	55	45	35	26	18	9
50	90	79	67	56	45	35
70	119	106	92	79	66	54
100	163	147	131	116	101	86
150	232	211	191	171	151	132
200	397	367	337	307	278	249

Fig. 47은 매 5년 별 직주의 규격별 최대 허용 견인력으로, 항설 기준 대비 직주의 최대 허용 견인력이 5년 후 평균 190%이며 30년 후에는 69%로 평가되었고 매 5년 마다 평균 약 24% 감소한다.

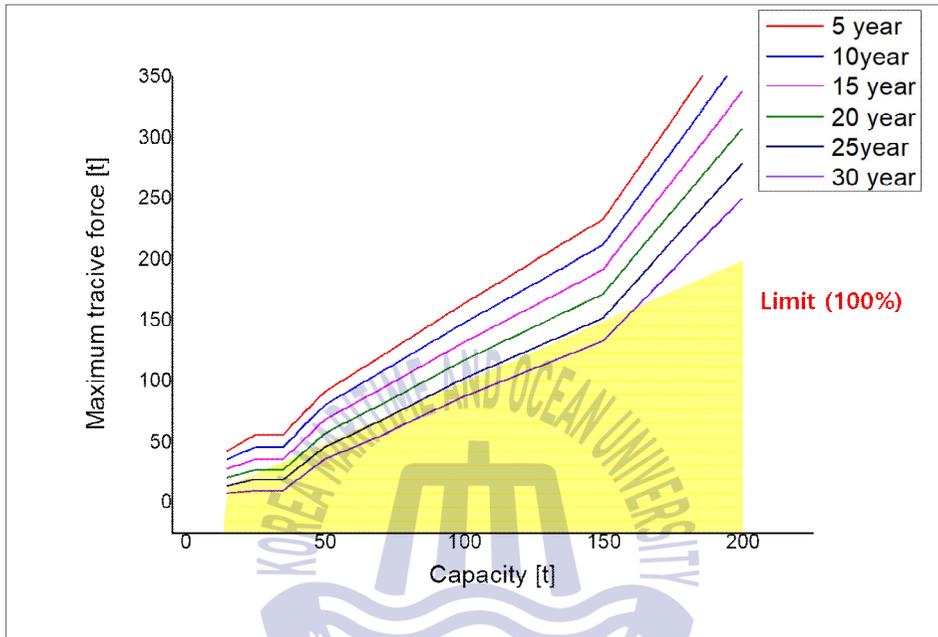


Fig. 47 Maximum Tractive force of Mooring Post Every five years

## 제 5 장 계선주 유지 관리 방안 제시

### 5.1 계선주 관리 방안을 위한 두께 기준 제시

계선주의 관리 방안을 제시하기 위하여 4장의 성능 평가 결과에 따라 산출한 강도 유지를 위한 최소 소요 강재두께와 계선주 부식기간을 분석하였고, 효과적인 유지 관리를 위한 여유 기간 확보를 검토하였다. 여유 기간 확보를 위해 최소 소요 강재두께에 20%의 여유를 반영한 두께를 안전 강재두께로 제시하였다. 유지 관리 방안을 위한 계선주 두께기준은 Table 52 ~ 53과 같다.

Table 52 Standards for thickness of bollard

CAPACITY [t]	설계두께 [mm]	최소 소요 강재두께 [mm]	허용가능 손실두께 [mm]	안전 강재두께 [mm]
5	20	7	13	8.4
10	20	8	12	9.6
15	20	8	12	9.6
25	21	10	11	12
35	25	15	10	18
50	29	17	12	20.4
70	33	19	14	22.8
100	39	26	13	31.2
150	49	31	17	37.2

Table 53 Standards for thickness of mooring post

CAPACITY [t]	설계두께 [mm]	최소 소요 강재두께 [mm]	허용가능 손실두께 [mm]	안전 강재두께 [mm]
15	20	7	13	8.4
25	20	9	11	10.8
35	20	12	8	14.4
50	27	15	12	18
70	30	17	13	20.4
100	35	21	14	25.2
150	40	24	16	28.8
200	43	22	21	26.4

Fig. 48 ~ 49은 계선주 곡주와 직주의 두께 기준으로 곡주와 직주 모두 35톤 까지 허용가능 손실 두께가 감소하며, 35톤 이후 증가하는 것으로 분석되었다.

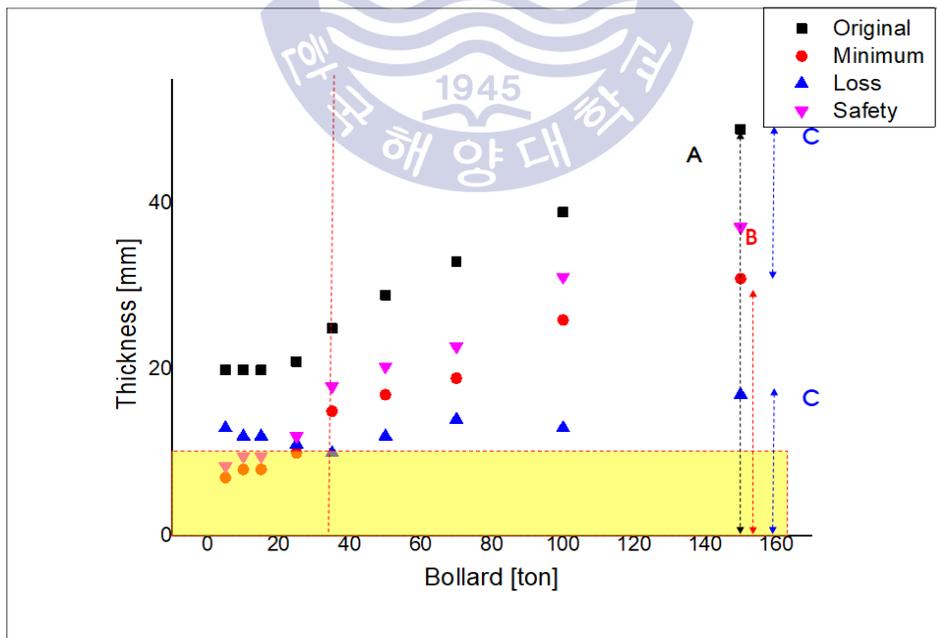


Fig. 48 Thickness standard of bollard

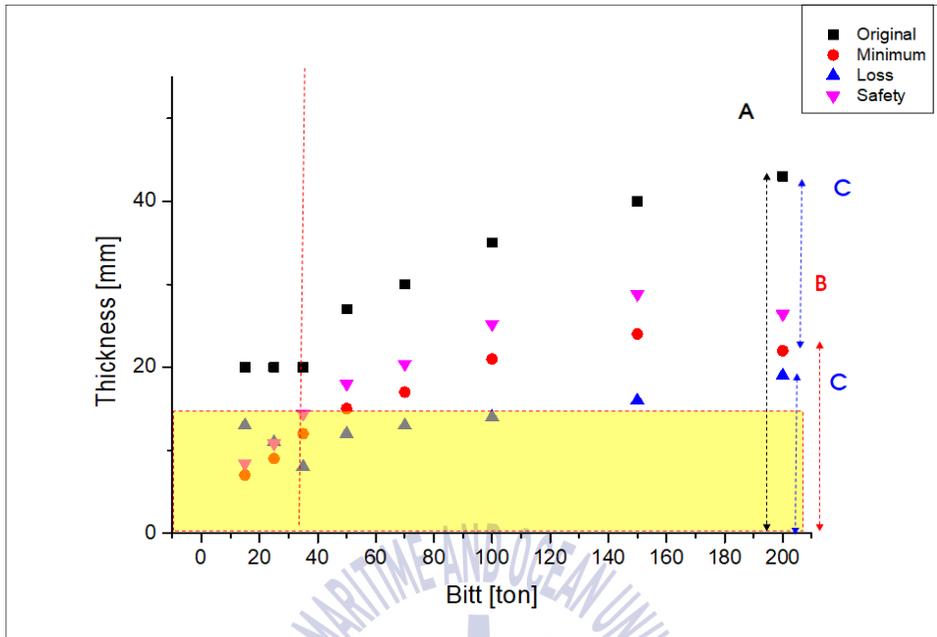


Fig. 49 Thickness standard of mooring post

## 5.2 계선주 유지 관리 기준 제시

Table 54의 『시설물안전법』상의 안전점검 및 시설물 등급별 검사 실시 시기를 기준으로 검사별 검사 방법 및 보수 방법을 제시하며 [8], 검사에 대한 평가 방법으로 안전 강재두께 미달 및 D 등급으로 분류하고, 하중검사 및 최소 소요 강재두께 미달 시 E등급으로 제안한다.

Table 55는 검사별 검사 방법 및 보수 방법에 대한 제시이다. 정기 검사 시에는 계선주의 손상 및 파손 등을 육안으로 상태 검사를 실시하고, 정밀 검사 시에는 초음파 두께 측정을 통하여 최소 소요 강재두께 미달 시 교체를 실시하며, 정밀안전진단에서는 추가적으로 계선주 지지대 구조 및 강도 검사를 위한 하중검사를 통해 견인력 미달 시 계선주 교체 및 지지대 보강을 시행한다. 또한 태풍 등의 강한 외력이 발생하여 부두에 손상이 발생하였거나, 동일 부두 내에 계선주 파손 발생 시 타 계선주에 대한 검사를 시행하고, 계선주 설치 후 20년 후 부터는 최소 강재두께에 여유 20%를 확보하여 여유 미달 시 교체를 준비하도록 권고한다.

**Table 54** Inspection standard of Special act on Safety safety control of public structures

구분	검사 시기
정기 검사	A·B·C등급의 경우: 반기에 1회 이상 D·E등급의 경우: 해빙기·우기·동절기 등 1년에 3회
정밀 검사	A등급의 경우 : 3년에 1회 이상 B·C등급의 경우: 2년에 1회 이상 D·E등급의 경우: 1년에 1회 이상
정밀 안전 진단	A등급의 경우 : 6년에 1회 이상 B·C등급의 경우: 5년에 1회 이상 D·E등급의 경우: 4년에 1회 이상
긴급 검사	필요시
교체 검토	계선주 설치 후 20년

**Table 55** Inspection standard of mooring post, bollard

구분	검사 방법	보수 방법
정기 검사	육안검사 (도색, 손상, 파손, 발청 확인)	도색, 보수
정밀 검사	두께 계측(초음파 두께 계측)	최소 소요 강재두께 미달 시 교체
정밀 안전 진단	두께 계측, 하중 검사 (Load Test) - 계선주의 안전성 검토와 지지대의 구조 및 강도 검사를 위한 하중 검사 시행	하중 미달 시 교체 지지대 보강
긴급 검사	태풍 등의 자연환경에 의한 손상 시 동일 부두내의 타 계선주 파손 시	
교체 검토	계선주 설치 후 20년부터 두께 계측 결과 안전 강재두께 (최소 강재두께 + 여유 20%) 미달 시 교체 권고	교체

### 5.3 계선주 강도 향상을 위한 두께 보강 제시

견인력에 따른 작용 응력은 계선주 두께에 따라 변화하게 되고, 두께 감소 시 증가하며, 최소 소요 강재두께에 도달하게 되면 최소 항복강도에 도달하여 성능 한계가 된다. 설계두께가 증가하게 견인력에 따른 강도가 증가하기 되나, 계선주 제작비 등 현실적인 문제로 두께를 무한정 확장 할 수 없고, 최소 필요 두께 산정이 필요하다.

최소 필요 두께 산정을 위하여 먼저 4.6.2절의 계선주 연간 최대 두께 손실을 활용하한 Table 49의 계선주 제원별 부식 기간 분석결과, 부식 기간에서 계선주 35톤에서 최소 기간인 곡주 18.0년과 직주 14.4년으로 평가되었고, 최소 20년 이상의 부식 기간이 예상되는 35톤 규격의 계선주 두께 증가를 통한 계선주 수명 향상 및 안전관리 효율성 향상이 필요하다.

곡주와 직주의 20년 수명 확보를 위해 두께 최소 소요 강재두께에 20년간 계선주 부식에 의한 두께 손실을 추가하여 35톤의 곡주는 최소 26mm이상 두께 확보가 필요하고, 35톤 직주는 최소 23mm 이상 두께 확보가 필요하다. 현재 두께 대비 곡주는 1mm, 직주는 3mm의 추가 두께 보강을 제안한다.

## 제 6 장 결 론

국내 항만에서는 계선주 노후로 인한 손상 및 파손이 발생하고 있고, 선박이 접안 중 계선주의 손상 및 파손 발생 시 계류안전성을 손실하여 접안선박 선박으로 인한 2차적인 대형사고의 개연성이 있다. 이러한 노후화로 인한 사고 발생의 위험에도 유지관리 기준은 검사 기간 및 항목만을 제시하고 있으며, 계선주 성능 검사를 위한 방법 및 평가 기준이 전무한 실정이다.

본 연구는 계선주가 설치되고 유지 관리 현황 파악을 위하여 설치기준과 설치 후 유지관리를 위한 규정을 검토하고, 견인력에 따른 국내 계선주의 작용 응력과 최소 항복 강도를 분석하였으며, 시간의 경과에 따라 부식에 의한 계선주 두께 손실을 통해 계선주의 성능을 평가하였다. 평가 결과에 따라 계선주 유지관리 방안 및 강도 향상 방안을 제시하였다.

계선주 안전관리 방안을 포함하여 본 논문을 통하여 수행한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째 국내·외 계선주의 설치 기준으로 국내와 일본, 영국의 기준을 상호 비교 분석하였다. 일본, 영국의 기준과 비교 분석하였으며, 분석 결과 계선주 설치 기준에서는 공통적으로 작용 견인력, 재질, 종류를 제시하고 있으며, 견인력은 총톤수 기준 국내는 200톤에서 250,000톤까지 12등급, 일본은 200톤에서 100,000 까지 9등급, 영국은 배수량 기준 7등급으로 2,000톤에서 200,000톤으로 나누어 제시하고 있다. 또한 국내와 일본에서는 계선주의 배치를 제시하고 있고, 계선주의 직경과 상세 치수 등의 규격을 국내 기준에서만 제시하고 있다.

둘째 국내·외 계선주의 유지관리에 관한 기준으로 국내와 일본의 관련 법령 및 지침과 OCIMF와 네덜란드의 계선주 제조사에 제공하는 계선주 관련 매뉴얼을 비교 검토 하였다. 관련 규정 및 지침과 매뉴얼에서 모두 검사 항목만을 규정하고 있으며 항목별 상세 검사와 평가 방법에 대한 기준이 존재 하지 않음

며, 검사자의 주관적 계선주 상태 평가를 통해 유지관리가 이루어지고 있다.

셋째 국내의 계선주 성능 평가를 위해 신규 설치되는 계선주의 국내에서 수행되었던 10개 선석의 계류안전성 평가 중 계선주에 작용하는 견인력을 분석하였고, 분석결과 평가 대상 모든 선석의 계선주에서 성능 적정성을 만족하였다. 신규 설치되는 계선주의 성능이 적정성을 만족함에도 과거 설치되어 운용중인 계선주 손상 및 파손 사례 발생함에 따라 관련 사례를 조사하였고, 발생 원인으로서는 시간의 경과에 따른 계선주 부식, 계선주 재질 불량, 노후화로 인한 성능 부족 및 견인력에 대한 강도 부족으로 분석되었다. 이러한 시간에 따른 부식 및 성능 부족을 평가하기 위하여 한국해양대학교 실습선 부두 계측을 통하여 손상 상태를 분석하였다. 계측 결과 최소 4.5mm의 두께가 계측되었으며, 설치 시 두께인 21.0mm 대비 16.5mm(약 79%)의 두께 손실이 평가되었다.

넷째 계선주 성능 평가를 위하여 설치 기준상의 견인력에 따른 작용 응력을 분석하였으며 계선주의 각 응력별 최소 항복강도인 245Mpa 와 비교하였으며, 그 결과 설계 제원에 따른 작용 응력은 100톤 규격의 곡주에서 최대 146.4Mpa, 150톤 규격의 직주에서 최대 136.78로 모든 규격의 계선주에서 최소 항복강도 이하로 평가되었다. 또한 계선주 성능 한계 평가를 위해 작용 응력이 최소 항복강도인 245Mpa에 도달하는 계선주의 상태를 분석하고, 두께를 통하여 평가하였으며, 이 두께를 최소 소요 강제두께(Minimum thickness,  $t_m$ )로 제시하였다.

다섯째 최소 소요 강제두께를 바탕으로 설계 두께에서 최소 소요 강제두께까지의 허용가능 손실두께(Allowable thickness,  $t_a$ )를 산출하였으며, 허용가능 손실가능두께는 곡주는 35톤에서 10mm, 직주는 35톤에서 8mm로 최소로 평가되었으며 35톤 규격의 계선주까지 허용가능 손실두께가 감소하였으며 35톤 이후 증가하였다.

여섯째 계선주의 부식을 통해 허용 가능 손실두께의 부식 기간을 예측하고, 계선주 설치 후 성능 한계까지의 기간을 평가하였다. 계선주의 부식은 재질의 자연 부식과 계류삭의 영향에 따른 마모로 발생하며, 자연 부식( $C_1$ )은 계선주 재질인 탄소강의 부식으로 계선주가 설치되는 부두라는 환경 특성을 고려하여

대기에 의한 부식과 파도 등에 의한 분무형태의 해수에 의한 부식과 비교 분석하였다. 대기에 의한 부식( $C_{Ai}$ )은 연간 0,178mm 손실이며, 분무형태의 해수에 의한 부식( $C_{Si}$ )은 연간 0.555mm 손실로 평가되고, 계선주에 의한 마모( $\alpha$ )를 반영하여 연간 부식을 분석하였다. 계류삭에 의한 마모 ( $\alpha$ )를 분석하기 위해 한국해양대학교 실습선 부두의 14기 계선주 계측 결과와 비교 분석하였고, 그 결과 실습선 부두 중 한바다호의 계선주에서 최대 두께 손상은 연간 0.556mm로 분석되었고, 자연 부식과 비교하여 마모를 산출하였으며, 대기에 의한 부식( $C_{Ai}$ )에서는 약 3.12, 분무형태의 해수에 의한 부식( $C_{Si}$ )에서는 약 1로 평가되었다. 본 연구에서는 계선주의 부식은 자연 부식에 계류삭에 의한 마모를 반영한 연간 두께 손실 0.556mm를 통하여 평가 하였다.

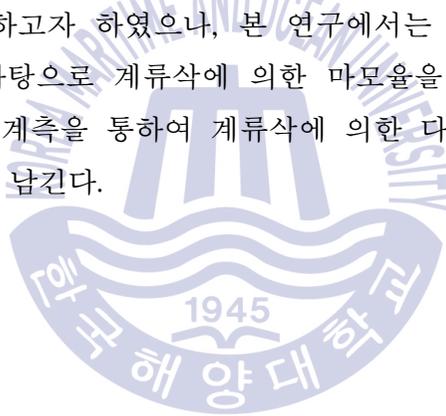
일곱째 최소 소요 강제두께까지의 부식 기간을 계선주의 연간 두께손실 0.556mm로 분석하여 계선주 규격별로 평가하였고, 평가결과 곡주는 35톤에서 18.0년 직주는 14.4년으로 최소 부식 기간이 분석되었다. 계선주 성능 평가 결과 산출한 최소 소요 강제두께와 부식 기간 평가 결과를 바탕으로 기존의 안전 기준인 시설물특별법의 안전검사별로 두께 계측을 포함한 상세한 검사 항목과 평가 방법 및 보수 방법을 제시하였다.

- 1) 정기 검사 : 육안검사를 통한 상태 검사 실시 후 도색 및 보수 작업 시행
- 2) 정밀 검사 : 두께 계측을 통해 최소 소요 강제두께 미달 시 계선주 교체
- 3) 정밀안전진단 : 계선주 두께 계측을 포함하여 계선주 하중 검사(Load Test)를 통하여 계선주 지지대의 구조 및 검토 검사를 실시하고 하중 미달 시 계선주 교체 및 지지대 보강
- 4) 긴급 검사 : 필요시 시행하며 태풍 등의 강한 자연환경에 의한 부두 시설물의 손상이 발생하였거나 동일 부두내의 계선주 파손 시 실시
- 5) 교체 검토 : 설치 후 20년부터 계선주 두께 계측 시 최소 소요 강제두께에 여유 20% 확보를 권고하여 여유 20%를 포함한 안전 강제두께 미달 시 교체 권고

일곱째 모든 규격의 계선주에서 허용 가능 손실두께의 부식 기간을 20년 이상 확보하기 위하여 35톤 규격의 계선주 두께를 곡주는 1mm 보강하고, 직주는 3mm 보강하도록 제안하였다.

본 연구는 계선주 안전관리 방안 마련을 위한 계선주 성능을 평가하고, 성능 한계를 분석하여 유지관리 방안을 제안하였다. 여기서 성능 한계를 두께를 통하여 제시하고 성능 한계까지의 기간을 계선주 부식을 통하여 예측을 시도하였다는 점에서 그 의의가 있다. 또한 계선주 부식 예측을 위하여 실제 계선주의 계측을 통하여 제시하고, 안전관리를 위한 검사 방법과 평가 기준의 적용이 가능하다는 점에서 의미를 부여하고 싶다.

계선주 부식 기간 산출에 있어 계선주 재질의 자연 부식율과 계류삭에 의한 마모율 가중치를 검토하고자 하였으나, 본 연구에서는 한국해양대학교 부두의 계선주 계측 결과를 바탕으로 계류삭에 의한 마모율을 분석하였으며 향후 더 많은 부두의 계선주의 계측을 통하여 계류삭에 의한 다양한 마모율에 관한 연구는 추후 연구 과제로 남긴다.



## 참고문헌

- [1] 울산항만공사, 2016. 울산항 위험물 하역 안전관리 체계 구축 연구 용역
- [2] 해양수산부, 2014. 항만 및 어항 설계기준·해설
- [3] 한국산업규격 KS D 3710 탄소강 단강품
- [4] 日本港灣協會, 2007. 港湾施設の技術上の基準・同解説
- [5] BS 6349-4:1994 Code of practice for design of fendering and mooring system
- [6] Trelleborg MARINE SYSTEMS, Bollard PRODUCT BROCHURE
- [7] 国土交通省, 2014. 港湾の施設の点検診断ガイドライン
- [8] 국토교통부, 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 2016.7.20 법률 제13799호
- [9] 해양수산부, 2017. 항만법
- [10] 해양수산부, 2017. 해양환경관리법
- [11] 한국시설안전공단, 2017. 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 국토교통부
- [12] 国土交通省, 2017. 항만법
- [13] 国土交通省, 2015. 港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン
- [14] 国土交通省, 2014. 港湾の施設の点検診断ガイドライン
- [15] 国土交通省, 2014. 特定技術基準対象施設に関する報告の徴収及び立入検査等のガイドライン
- [16] A EUROTECH BENELUX COMPANY, Bollards Operation & Maintenance Manual
- [17] Allianz, Marine Port Structure Guidance
- [18] OCIMF, 2008, Jetty Maintenance & Inspection Guide
- [19] 제주자치특별시, 2013 성산포항 접안시설 축조공사 해상교통안전진단
- [20] 제주특별자치도, 2012. 화순항 2단계 개발사업 기본 및 실시설계
- [21] 울산지방해양수산청, 2011, SK 3부두 및 SK 가스부두 증설 관련 해상교통안전진단

- [22] 포항지방해양수산청, 2016, 포항 영일만항 국제여객부두 축조공사 기본 및 실시설계용역 중 해상교통안전진단
- [23] 인천지방해양수산청, 2011, 영흥화력발전소 5.6호기 제3연료하역부두 해상교통안전진단
- [24] 인천지방해양수산청, 2012, SK에너지/인천 CLX 제3부두 접안능력 증대사업 해상교통안전진단
- [25] 국토교통부, 2016, 도로교 설계기준 한계상태설계법
- [26] 한국시설안전공단, 2011. 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서
- [27] 강원식, 박영수, 2015. 울산항 위험물 부두의 안전계류에 관한 기초연구 2016년도 해양환경안전학회 춘계학술대회
- [28] 조의열, 권기봉, 조대형, 김종렬, 2013. 탄소강을 이용한 해안 야외부식시험과 염수분무시험, 가속부식시험의 가속계수에 대한 연구. 한국부식방식학회
- [29] N.W. Farro, L. Veleva, P. Aguilar, 2009. Mild Steel Marine Corrosion: Corrosion Rates in Atmospheric and Seawater Environments of a Peruvian Port. The Electrochemical Society
- [30] P. Osório, C. Odenbreit and T. Vrouwenvelder, 2010, STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF QUAY WALLS WITH STEEL SHEET PILES
- [31] 해양수산부, 2017, 해상교통안전진단시행규칙
- [32] 한국해양학회, 2005, 해양과학용어사전